

Juhana Polojärvi

YHTEISKÄYTTÖPALVELUN VAIKUTUKSET LIIKENTEESEEN

Tapaus Liiteri

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Diplomityö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Juhana Polojärvi: Yhteiskäyttöpalvelun vaikutukset liikenteeseen – tapaus Liiteri
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019

Asioiden jakamisella ja yhteiskäytöllä on osoitettu vuosisatoja niiden omistamisesta muodostuvia hyötyjä ja haittoja. Yhteiskuntien digitalisoitumisen myötä yhteiskäytön mahdollisuudet ovat parantuneet, kun tietoa jaettavista hyödykkeistä voidaan tuottaa ja löytää helposti internetin välityksellä. Samalla on syntynyt uutta liiketoimintaa, kun tekniikan avulla on voitu poistaa maksuihin ja hyödykkeiden saatavuuteen sekä luovutukseen liittyviä käytännön ongelmia. Fyysiset hyödykkeet on kuitenkin edelleen siirrettävä niiden varastointipaikasta kohteeseen, jossa niille on käyttöä. Kun hyödykettä ei omisteta, täytyy se käytön jälkeen vielä siirtää takaisin tai seuraavaan käyttöpaikkaan. Nämä kuljetukset tuottavat tällöin myös liikennettä, joka tuottaa kustannuksia sekä kuluttaa lukuisia muitakin resursseja.

Coreorient Oy on vuonna 2016 tuonut kuluttajien saataville yhteiskäyttöisen vuokrauspalvelun Liiterin, jonka kautta on mahdollista vuokrata harvemmin tarvittavia hyödykkeitä aina avoimena olevasta automatisoidusta nk. älytilasta palvelun verkkosivustoa hyödyntämällä. Yrityksen tavoitteena on ollut, että Liiteri-palvelu tuo kuluttajien saataville kestävämpiä arjen palveluita, jotka sijaitsisivat keskeisillä paikoilla ja ihmisten kulkureittien varrella. Tämän tavoitteen todentamiseksi tarvittiin tutkimustietoa mm. Liiterille suuntautuvista asiointimatkoista. Liikenteen tutkimuskeskus Verne toteutti toimeksiantona tämän diplomityön, jossa tutkitaan palvelun tuottamia liikennesuoritteita. Vertailun mahdollistamiseksi arvioidaan työssä myös, miten liikennesuoritteet olisivat muuttuneet, mikäli Liiteriä ei olisi ollut käytettävissä.

Tutkimuksen keskeisin tiedonhankintamenetelmä on tutkimuksen osana toteutettava yhdistetty RP- (Revealed Preference) ja SP-kysely (Stated Preference) palvelun käyttäjille. Kysely toteutettiin lähettämällä tutkimusjakson aikana kyselykutsu sähköpostitse jokaisen tutkimusjakson aikana tehdyn vuokrauksen yhteydessä. Kyselyn tuloksien pohjalta laskettiin liikennesuoritteen sekä liikkumisen päästöjen, kustannusten ja aktiivisen liikkumisen terveyshyötyjen muutos. Tutkimuksessa tarkastellaan vain tuotteiden käyttöpaikan ja vuokraus- tai ostospaikan välisen kuljetusmatkojen tuottamia pakokaasu- ja katupölypäästöjä sekä päästöjen, liikkumisen ja liikenneonnettomuuksien kustannuksia. Tarkasteltujen päästöjen ja kustannusten osalta selvitettiin kirjallisuustutkimuksen avulla niiden keskeiset muodostumis- ja vaikutusmekanismit.

Työn päätavoite ei kuitenkaan täyttynyt kyselyn vastausmäärien jäädessä vähäisiksi, joten luotettavia arvioita ei voitu antaa. Suuntaa antavien arvioiden mukaan Liiterille suuntautuvat matkat tuottaisivat 63–67 % enemmän liikennesuoritteita, 24–40 % enemmän päästöjä sekä -8–20 % enemmän kustannuksia vaihtoehtoihin hankintoihin verrattuna. Matkojen pituuksien arvioijalla, käytetyillä liikkumiskustannusten lähtöarvoilla sekä aktiivisen liikkumisen VSL-arvioilla on merkittävä vaikutus kustannusten tasapainoon.

Yksittäisten eikä erityisesti yhteiskäyttöpalveluiden liikennevaikutuksia ole juuri tutkittu liikennesektorien ulkopuolisten palveluiden osalta, joten tällaiseen tutkimukseen ei ole vakiintuneita käytäntöjä tai vertailukohteita. Työn tärkeimpänä tuloksena saatiinkin tietoa tämän tyyppisten tutkimusten toteuttamisesta. Lisäksi osaa laskentoja varten määritetyistä yksikkökertoimista voi hyödyntää lähtöarvoina tai vertailukohtina toisissa tutkimuksissa.

Avainsanat: yhteiskäyttöpalvelu, liikenne, kysely, päästöt, kustannukset, jakamistalous

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Juhana Polojärvi: Impacts of rental and sharing service on transport - case Liiteri
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
May 2019

Sharing and joint usage of things have been dividing benefits and downsides of ownership for centuries. While societies have digitalized, possibilities of joint use have gained variety when information about shared commodity can be produced and found easily via internet. At the same time new businesses have been established since improved technology have removed practical issues regarding payments, availability and handovers. Nevertheless, physical goods must be moved from storage to destination, where they are needed. When the product is not owned, it must be returned or moved to the next location. These carriages also induce traffic which causes costs and consumes many other resources.

Coreorient Oy has launched joint use rental service Liiteri for consumers in 2016 where many rarely used i.e. electric tools and other equipment can be rented at any time of the day from so called smart container via website. Target of the company and Liiteri is to provide more sustainable everyday services located in central places along routes of people. To confirm this goal scientific information was needed from i.e. trips made for visiting Liiteri. Transport Research Center Verne produced this master's thesis as an assignment which studies mileage produced by the service. For comparison, study also estimates how mileage could have been altered if Liiteri would not exist.

Primary research method for gathering information is combined RP- (Revealed Preference) and SP-survey (Stated Preference) for Liiteri clients. Survey invitation was delivered to clients during research period after every rental event via email. Based on survey results change of mileage, traffic emissions, costs and health benefits of active traveling were calculated. In this study, only direct exhaust, road dust emissions and costs of emissions, transport and traffic accidents were examined on the trips between service location and location of the product application site. A literary research about traffic emissions and costs was also performed for explaining key mechanisms of formation and impacts.

However, this study did not meet original main objective since answer rate of the survey remained low. Because of this, reliable or valid results could not be given. Nevertheless, results suggested that trips directed to Liiteri would induce 63–67 % more passenger kilometres, 24–40 % more emissions and -8–20 % more costs than alternative purchase options. However, estimator of trip length, used transport cost unit ratios and value of statistical life (VSL) estimate for active traveling had significant impact on cost balance.

Hardly any studies related to impacts on transport of specific service or even joint use service has made outside transport sector. Because of this, established practices or comparison cases cannot be utilized. Nevertheless, main outcome of this study was obtaining information for implementing similar studies. In addition, some of the unit ratios can be utilized as a base or comparison value in other studies.

Keywords: joint use service, traffic, survey, mileage, emission, costs, sharing economy

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty osana Tampereen yliopiston rakennustekniikan diplomi-insinööri tutkintoa sekä Coreorient Oy:n Arjen kestävät palvelut asemanseuduille -projektia, joten haluan kiittää työni toteutusmahdollisuudesta ja toteutuksen aikana tehdystä yhteistyöstä Coreorient Oy:n Harri Paloheimoa, Tampereen yliopistoa sekä muita projektia eteenpäin vieneitä tahoja. Kiitokset myös Liikenteen tutkimuskeskus Vernelle ja sen henkilökunnalle avusta kyselyn laadinnassa ja diplomityöhön liittyvissä käytännön asioissa. Erityiskiitokset kuuluvat myös äidilleni sekä työni ohjaajalle Kalle Vaismaalle.

Suurimmat kiitokset kuuluvat rakkaalle avovaimolleni Annikalle, joka jaksoi upeasti kannustaa ja auttaa omalla panoksellaan koko opintojeni ajan!

Tampereella, 22.5.2019

Juhana Polojärvi

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen taustoitus	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaus.....	1
1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineistot.....	3
1.4 Työn rakenne	4
2. YHTEISKÄYTTÖPALVELUT.....	5
2.1 Jakaminen ja jakamistalous	5
2.2 Toimintamallit.....	7
2.3 Vaikutukset	9
3. LIIKENNepÄÄSTÖT JA AKTIIVINEN LIIKKUMINEN.....	11
3.1 Liikennepäästöt ja niiden vaikutukset	11
3.1.1 Hiilidioksidi (CO ₂)	14
3.1.2 Hiilimonoksidi (CO)	14
3.1.3 Typen oksidit (NO _x).....	15
3.1.4 Dityppioksidi (N ₂ O).....	16
3.1.5 Hiilivedyt (HC).....	16
3.1.6 Metaani (CH ₄)	17
3.1.7 Rikkidioksidi (SO ₂)	18
3.1.8 Hiukkaspäästöt (PM).....	19
3.1.9 Otsoni (O ₃).....	22
3.2 Aktiivinen liikkuminen ja sen vaikutukset.....	23
4. MITTAUS, LASKENTA JA VAIKUTUSTEN ARVOTTAMINEN	25
4.1 Liikennepäästöt.....	27
4.1.1 Pakokaasupäästöt	27
4.1.2 Muut päästöt.....	28
4.1.3 Social Costs of Carbon (SCC).....	30
4.1.4 LIPASTO	33
4.1.5 LIISA.....	33
4.1.6 Kaupunkilogistiikka	34
4.2 Terveysvaikutukset	35
4.2.1 Suhteellinen ja absoluuttinen riski sekä suhteellinen tautipaine... 35	
4.2.2 Maksu- ja hyväksymishalukkuus	36
4.2.3 Inhimillinen pääoma sekä terveydenhuollon kustannukset	38
4.2.4 Tautitaakka	39
4.2.5 Health Economic Assessment Tool (HEAT)	41
4.3 Laskennoissa käytettävät yksikkökertoimet.....	43
4.3.1 Liikkumiskustannukset	44
4.3.2 Liikenteen päästömäärät.....	49
4.3.3 Liikenteen päästöjen kustannukset	50
4.3.4 Onnettomuuskustannukset	52
4.3.5 Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt.....	54
5. LIITERI-PALVELUN VAIKUTUKSET	56
5.1 Kyselylomakkeen laadinta.....	56

5.2	Yleisiä havaintoja vastaajista sekä Liiterillä asioimisesta.....	58
5.3	Vaikutukset liikennesuoritteisiin.....	60
5.4	Vaikutukset liikenteen päästöihin	64
5.5	Taloudelliset vaikutukset	65
5.5.1	Liikkumis- ja tilauskustannukset	66
5.5.2	Päästökustannukset.....	67
5.5.3	Onnettomuuskustannukset	68
5.5.4	Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt.....	69
5.6	Tuloksien koonti ja herkkyystarkastelu	69
6.	YHTEENVETO.....	74
6.1	Tutkimuksen tavoitteiden ja tulosten vertailu	74
6.2	Työn validiteetti, reliabiliteetti ja jatkotutkimuskohteet.....	76
	LÄHTEET	79

LIITE A: KYSELYTUTKIMUKSEN LOMAKE LIITERI-PALVELUN
KÄYTTÄJILLE

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AR	<i>Absolute</i> tai <i>Attributable Risk</i> , absoluuttinen tai syyksiluettava riski on yksikötön suhdeluku.
B2B	<i>Business-to-Business</i> , yritysten välillä tapahtuvaa vuorovaikutusta
B2C	<i>Business-to-Consumer</i> , yritysten ja kuluttajien välillä tapahtuvaa vuorovaikutusta
BC	<i>Black Carbon</i> , nk. musta hiili on valoa voimakkaasti absorboiva hiukkasina esiintyvä materiaali.
BoD	<i>Burden of Disease</i> , tautitaakka mittaa väestön terveysmenetyksiä haittapainotettuina elin-vuosina.
CH ₄	Metaani, kasvihuonekaasu
CO	Hiilimonoksidi eli häkä, ilmansaaste
CO ₂	Hiilidioksidi, kasvihuonekaasu
CO ₂ -ekv	Hiilidioksidiekvivalentti on päästösuure, joka kuvaa yhteenlaskettujen kasvihuonekaasujen (vaikutus on muunnettu vastaamaan hiilidioksidia) ilmastovaikutusta.
DALY	<i>Disablity Adjusted Life-Years</i> , suure, joka mittaa väestön terveysmenetyksiä haittapainotettuina elinvuosina.
HC	Hiilivedyt käsittää lukuisia eri ilmansaasteyhdisteitä ml. CH ₄ , VOC.
HEAT	<i>Health Economic Assessment Tool</i> , WHO:n koordinoima ja tutkimustiedon pohjalta kehitetty laskentatyökalu kävelyn ja pyöräilyn taloudellisten vaikutusten arviointiin.
HK-suhde	Hyötykustannussuhde, ilmaisee investointien ja siitä saatavien hyötyjen suhteen yksiköttömänä lukuarvona.
hkm	Henkilökilometri on suure, joka mittaa henkilökuljetusten liikennesuoritetta ja se lasketaan kuljetetun henkilömäärän ja matkan pituuden tulona.
HLT	Henkilöliikennetutkimus on Liikenneviraston toteuttama valtakunnallinen tutkimus, jolla kerätään perustietoja suomalaisten liikkumisesta.
HSL	Helsingin seudun liikenne on joukkoliikennepalveluja tarjoava ja kehittävä kuntayhtymä, johon kuuluu tällä hetkellä 9 pääkaupunkiseudun kuntaa.
IAM	<i>Integrated Assessment Model</i> , arviointimalli, joka mallintaa ilmastomuutoksen etenemistä ja toimii lähtökohtana ilmastomuutoksen taloudellisten vaikutuksien arvioinnille.
ICD	<i>International Classification of Diseases</i> , kansainvälinen tautiluokitusjärjestelmä, jota käytetään yli sadassa maassa (ml. Suomi)
IHME	<i>The Institute for Health Metrics and Evalution</i> , pääasiassa Bill ja Melinda Gatesin säätiön rahoittama tutkimuslaitos, joka tutkii ja julkaisee mailmanlaajuisia terveyteen liittyviä tilastoja.
IR	<i>Infrared</i> , infrapuna
LIISA	VTT:n kehittämä tieliikenteen päästöjen sekä energiankäytön laskentajärjestelmä sekä Suomen tieliikenteen päästölaskentamalli
LIPASTO	VTT:n kehittämä Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä
N ₂ O	Dityppioksidi eli ilokaasu, kasvihuonekaasu
NTP	<i>Normal Temperature and Pressure</i> , normaalilämpötila (293,15 K) ja -paine (101 325 Pa)
NO _x	Typen oksidit eli typpimonoksidi (NO) ja typpidioksidi (NO ₂), ilmansaaste
O ₃	Otsoni, ilmansaaste ja kasvihuonekaasu

OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> , Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö, johon kuuluu 36 jäsenmaata (ml. Suomi)
OR	<i>Odds Ratio</i> , suhteellinen tautipaine tai vetosuhde eli tapahtumien ja sen vastatapahtumien todennäköisyyksien välinen yksikötön suhdeluku
P2P	<i>Peer-to-Peer</i> , yksilöiden välillä tapahtuvaa vuorovaikutusta
PM	<i>Particle Matter</i> , hiukkaspäästöt, alaindeksi (esim. PM _{2.5}) kertoo hiukasten läpimitan maksimin
ppm	parts per million, miljoonasosa
QALY	<i>Quality-Adjusted Life Year</i> , laatupainotetun elinvuoden arvo rahallisesti arvoitettuna
RP	<i>Revealed Preference</i> , menetelmä, jossa selvitetään ihmisten tekemiä todellisia valintoja
RR	<i>Relative Risk</i> , suhteellinen riski, yksikötön suhdeluku
SCC	<i>Social Costs of Carbon</i> , ilmastonmuutoksen rahallisesti mitattu kustannus päästettyä hiilidioksiditonnia kohden
SO ₂	Rikkidioksidi, ilmansaaste
SP	<i>Stated Preference</i> , menetelmä, jossa selvitetään ihmisten tekemiä kuvitteellisia valintoja oletetuissa tilanteissa
UFP	<i>Ultrafine Particle</i> , hyvin pienet hiukkaset (alle 0,1 µm)
UR	<i>Unit Risk</i> , yksikköriski on suhteellinen lukumääräarvio tietyllä altistumistasolla havaituista terveysvaikutuksista
WHO	<i>World Health Organization</i> , Maailman terveysjärjestö
VOC	<i>Volatile Organic Compounds</i> , haihtuvat orgaaniset yhdisteet, ilmansaaste
VOLY	<i>Value Of Life Year</i> , elinvuoden tilastollinen arvo rahallisesti mitattuna
VR	VR Yhtymä Oy on Suomen valtion kokonaan omistama logistiikkakonserni, joka harjoittaa henkilö- ja tavaraliikennettä Suomen rauta- ja maanteillä.
VSL	<i>Value Of Statistical Life</i> , ihmiselämän tilastollinen arvo rahallisesti mitattuna
WTA	<i>Willingness To Accept</i> , hyväksymishalukkuus mittaa, mihin minimihintaan jonkin asian menettäminen tai myyminen hyväksytään.
WTP	<i>Willingness To Pay</i> , maksuhalukkuus mittaa, kuinka paljon tuotteen tai asian kuten riskin pienentämisestä ollaan halukkaita enimmillään maksamaan
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on Suomen valtion kokonaan omistama moniteknologinen soveltavaa tutkimusta tekevä tutkimuslaitos.
YLD	<i>Year Lived with Disability</i> , sairauden takia menetetty, haittapainotettu elinvuosi
YLL	<i>Years of Life Lost</i> , menetetty elinvuosi

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustoitus

Tutkimus toteutetaan osana Coreorient Oy:n Arjen kestävät palvelut asemanseuduille -projektia, jossa selvitetään Coreorientin kehittämän Liiteri-palvelun vaikutuksia käyttäjiensä liikkumiseen. Liiterin kautta on mahdollista vuokrata harvemmin tarvittavia hyödykkeitä kuten työkaluja ja -koneita aina avoimena olevasta automatisoidusta nk. älytilasta verkkosivustoa hyödyntämällä. Projekti on alkanut 25.6.2018, mutta Liiteri-palvelu on ollut saatavilla vuoden 2016 syksystä saakka ja tällä hetkellä asiointipisteitä on toiminnassa viisi (Helsinki 3 kpl, Vantaa, sekä Lempäälä). Pisteet ovat nykyisin kaikille avoimia, mutta yhden käyttöoikeudet oli rajattu vuoden 2019 huhtikuuhun saakka pääkaupunkiseudun Asokotien asukkaille. Yhtä kohdetta lukuun ottamatta noutopisteet sijaitsevat hyvin lähellä rautatie- tai metroasemaa. Tavoitteena on ollut, että noutopisteet sijaitsisivat hyvin saavutettavilla, keskeisillä paikoilla sekä joukkoliikenteen reittien varrella. (Paloheimo 2018; Liiteri 2018)

Liiteri-palvelun keskeisenä tavoitteena on tuoda kuluttajien saataville kestävämpiä arjen palveluita ja osoittaa, että avoin palvelualusta ja niiden sijoittaminen asemakeskusten yhteyteen parantaa asemaseutujen toimivuutta ja houkuttelee niihin lisää kävijöitä. Tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan riippumatonta tutkimustietoa, jotta palvelun oletetut hyödyt sekä arvonlisäys voidaan osoittaa niin kuluttajille kuin muille sidosryhmille. (Paloheimo 2018)

Yksittäisten palvelujen liikennevaikutuksia ei ole juurikaan tutkittu liikennesektorien ulkopuolisten yritysten ja toimijoiden osalta. Tästä syystä tällaiseen tutkimukseen ei ole vakiintuneita käytäntöjä tai vertailukohteita, mikä tuottaa erilaisia haasteita tutkimuksen toteutukseen, rajaukseen sekä tulosten arviointiin.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaus

Coreorient Oy:n Arjen kestävät palvelut asemanseuduille -projektin yhtenä tavoitteena on avoimen Liiteri-palvelualustan ja toimintamallin hyötyjen arvioiminen asemia käyttäville ja asemaseutujen läheisyydessä asuville tai liikkuville kuluttajille. Osana näitä hyötyarvioita liikenteen tutkimuskeskus Verne toteuttaa toimeksiantona ja diplomityönä tut-

kimuksen, jossa tutkitaan palvelun tuottamia liikennesuoritteita. Vertailun mahdollistamiseksi arvioidaan myös, miten liikennesuoritteet olisivat muuttuneet, mikäli Liiteriä ei olisi ollut käytettävissä. Näiden tietojen pohjalta lasketaan liikennesuoritteen muutos sekä liikkumisen päästöjen, kustannusten (suorat ja epäsuorat kustannukset kulkutavoittain) ja hyötyjen (aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt) muutos. (Paloheimo 2018) Pää-tutkimuskysymykseksi muodostuu näin ollen:

Millaisia vaikutuksia Liiteri-palvelulla on liikennesuoritteisiin, -päästöihin sekä -talouteen?

Päättökysymyksen arvioinnin lisäksi haetaan vastauksia seuraaviin alakysymyksiin.

1. Miten liikennepäästöjä sekä niiden kustannuksia mitataan ja arvotetaan?
2. Millaisia vaikutuksia yhteiskäyttöpalveluilla on ollut liikenteeseen ja sen päästöihin?
3. Miten aktiivisen liikkumisen terveyshyötyjä arvotetaan?

Tutkimuksessa tarkastellaan vain tuotteen käyttöpaikan ja vuokraus- tai ostospaikan välisen kuljetusmatkojen muodostamia pakokaasu- ja katupölypäästöjä sekä kustannuksia. Tutkimuksessa voitaisiin tarkastella liikennetaloutta varsin laajastikin, mutta alkupe- räiseen projektisuunnitelmaan on valikoitu suorat ja epäsuorat liikkumiskustannukset kulkutavoittain. Jotta päästöjen ja aktiivisen liikkumisen terveysvaikutuksien vertailu näihin olisi mielekästä, laajennettiin alkuperäistä suunnitelmaa epäsuorien kustannusten osalta liikennepäästöjen ja -onnettomuuksien sekä aktiivisen liikkumisen terveysvaikutusten rahalliseen arvottamiseen. Nämä arviot tehdään pääosin kirjallisuustutkimuksen avulla sekä valmiita arvioita hyödyntämällä.

Valittu tarkastelunäkökulma on rajattu liikennepäästöjen osalta ilman epäpuhtauksiin, jolloin esimerkiksi melupäästöjä ja tärinähaittoja ei arvioida. Lisäksi aikakustannukset jätettiin tarkastelun ulkopuolelle niiden kiistanalaisuuden vuoksi. Koska tutkimuksessa tarkastellaan vain yhden palvelun vaikutuksia, on laskennassa jätetty huomioimatta monia epäsuoria päästöjä, joita muodostuu mm. tuotannossa, kierrätyksessä ja toimitusketjuissa, jolloin tarkastelussa ovat vain ne suorat päästöt, joita syntyy paikallisesti kuljettaessa asiointi- ja ostosmatkoja. Vaikka päästöjen osalta tarkastelu on rajattu vain näihin matkoihin, on näiden päästöjen vaikutuksien arviointi laajennettava itse liikkujien sijaan väestötasolle. Liikennepäästöjen ja aktiivisen liikkumisen vaikutukset ovat hyvin moninaiset, jolloin niiden tarkastelu vain yksittäisen palvelun tai sen käyttäjien tasolla olisi oletettavasti niin vähäinen etenkin Suomessa tyypillisesti esiintyvillä ilmansaastepitouksilla, ettei sitä voisi arvottaa rahallisesti. Tällöin arvio tehdään epäsuorasti ja kan-

santalouden tasolla, jossa ne kohdentuvat lähinnä terveydenhuollon ja menetettyjen tuotantopotentiaalien arvottamiseen. Liikennepäästöt vahingoittavat myös ympäristöä monella tapaa, mutta näiltä osin on tarkasteltu vain kasvihuonekaasujen vaikutuksia ilmastomuutokseen.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineistot

Liiteri-palvelun osalta keskeisin tiedonhankintamenetelmä on tutkimuksen osana toteutettava yhdistetty RP- (Revealed Preference) ja SP-kysely (Stated Preference) palvelun käyttäjille, jonka tuloksien pohjalta arvioidaan liikennesuoritteiden muutoksia. Kysely toteutetaan jokaisen tutkimusjakson aikana tehdyn vuokraustapahtuman yhteydessä lähettämällä kyselykutsu sähköpostitse palvelua tarkastelujaksolla käyttäneille. Kyselyn RP-osassa kartoitetaan yksinomaan, minkä matkan sekä millä kulkutavoilla käyttäjä on kulkenut asioidessaan Liiterillä. Tämän tiedon vertailukohdaksi kysytään SP-osiossa, minkä matkan ja millä kulkutavalla palvelun käyttäjä olisi tehnyt Liiteristä hankitun tuotteen tai palvelun saamiseksi, ellei Liiteri-palvelua olisi ollut saatavilla.

Tavoitteena oli saada tilastollisesti edustava ja riittävä otos, jotta kyselytutkimuksen liikennesuorite-erojen pohjalta voitaisiin tehdä tilastollisesti reliaabeleja havaintoja. Liikenteen pakokaasupäästö määrärien arvioimisessa hyödynnetään Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n toteuttamaa Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä LIPASTOa (2019b). Päästöjen ja onnettomuuksien aiheuttamien kustannusten arvioinnissa tukeudutaan pääasiassa Liikenneviraston (nyk. Väylä) tuottamiin aineistoihin (Peltola et al. 2018; Gynther et al. 2012), mutta esim. katupölyn osalta arvio tehtiin yhdistelemällä tietoja useista lähteistä. Liikkumiskustannuksia arvioidaan henkilöautoille, pääkaupunkiseudun joukkoliikenteelle ja aktiiviselle liikkumiselle eri lähteisiin perustuvilla laskemilla sekä valmiiksi lasketuilla arvoilla. Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt laskettiin koko Suomen aikuisväestölle World Health Organizationin (WHO) toteuttamalla HEAT-laskentatyökalulla (Kahlmeier et al. 2017) käyttämällä lähtöarvoina pääasiassa vuoden 2016 henkilöliikennetutkimuksen (HLT) tietoja (Liikennevirasto 2018a). Laskennoissa päästöt ja kustannukset on esitetty yksikkökertoimina kuten grammaa tai euroa per henkilökilometri (g/hkm, €/hkm). Näiden tutkimusmenetelmien osalta tutkimusmenetelmät ovat pääasiassa kvantitatiivisia.

Päätutkimuskysymyksen kannalta on keskeistä ymmärtää, miten päästöjä ja niiden kustannuksia arvioidaan ja arvotetaan rahallisesti, sillä liikkumisen suorat kustannukset voidaan laskea useimmiten varsin suoraviivaisesti. Laskennassa käytettäviä tunnuslukuja ja kertoimia on saatavilla useista eri lähteistä, mutta näiden lukuarvojen taustalla tehtyä

tutkimusta taustoitetaan kirjallisuustutkimuksen avulla, jotta ymmärrettäisiin, millaisia oletuksia ja johtopäätöksiä tutkimusdatasta on tehty.

1.4 Työn rakenne

Luvussa 2 selvitetään, mitä yhteiskäyttöpalvelut ovat ja miten ne ovat vaikuttaneet liikenteeseen, jotta nähdään kuinka ne poikkeavat tavanomaisemmista palveluista. Luvussa 3 käydään läpi keskeisimmät liikennepäästöryhmät, aktiivinen liikkuminen sekä niiden ilmasto- ja terveysvaikutuksia, jotta ymmärretään niiden olennaisimmat vaikutusmekanismit arvottamisen kannalta. Luvussa 4 tarkastellaan liikennepäästöjen sekä terveysvaikutusten mittausta-, laskenta- ja arvottamismenetelmiä sekä määritetään laskennassa käytetyt yksikkökertoimet, jotta päätutkimuskysymyksen talousvaikutukset voidaan arvioida. Luvussa 5 yhdistetään aiemmissa luvuissa läpi käyty kirjallisuustutkimus kyselystä saatuihin tunnuslukuihin ja lasketaan näiden pohjalta arviot herkkyystarkasteluineen Liiteri-palvelun vaikutuksista liikennesuoritteisiin, -päästöihin sekä -talouteen. Viimeisessä luvussa käydään läpi tärkeimmät tulokset ja arvioidaan niitä tutkimuksen tavoitteiden, validiteetin ja reliabiliteetin näkökulmasta sekä ehdotetaan kehittämis- ja jatkotutkimuskohteita.

2. YHTEISKÄYTTÖPALVELUT

2.1 Jakaminen ja jakamistalous

Yhteiskäyttöpalvelut perustuvat nimensä mukaisesti asioiden yhteiskäyttöön eli ts. jakamiseen ja tämä on Belk:n (2007) mukaan toiminta tai prosessi, jossa toisille annetaan käytettäväksi jotain omaa tai vastaavasti itse käytämme jotain toisten omaa. Jakamista voidaan pitää jakelun kolmantena muotona hyödykkeiden vaihtamisen ja lahjojen antamisen ohella. Jakamisen pääasiallinen tarkoitus onkin osittaa jonkin asian omistamisesta muodostuvat hyödyt sekä haitat kahden tai useamman tahon kesken.

Jakamisella voidaan säästää resursseja, mutta myös synnyttää erilaisia yhteisvaikutuksia kuten kateellisuuden vähentymistä ja yhteisöllisyyden tuntemuksia. Esimerkiksi 1600-luvulla huomattiin, että tiede kehittyisi paljon nopeammin, kun tietoa jaettaisiin avoimesti sen sijaan, että keksinnöt ja havainnot pidettäisiin omana tietona. Myös internet hyödyntää osittain tätä samaa ideologiaa jakamalla valtavat määrät sisältöä odottamatta, että niiden hyödyntäjä jakaisi vastavuoroisesti jotain takaisin. (Belk 2007)

Grassmuck:n (2012) mukaan yhteiskuntamme on käymässä läpi taitekohtaa, jossa kiinnostus jakamista kohtaan on kasvanut nopeasti ja tämä ilmenee niin tieteissä, julkisessa keskustelussa kuin käytännössäkin. Jakamisen juuret ovat syvällä ihmisluonnossa sekä kulttuurihistoriassa, mutta muutosvoimana tämän taitteen tapahtumiselle ovat tyytymättömyys yhteiskuntajärjestelmän kykyyn palvella yleistä etua sekä mahdollisuudet hyödyntää teknologian tarjoamia ratkaisuja. Toisaalta olemme Esposito & Tsen (2018) mukaan myös niin kutsutussa Beta-yhteiskuntavaiheessa, jota määrittävät kokeilu ja kehittäminen, mutta myös perinteisiä toimintamalleja haastavat, ja joissain tapauksissa jopa rikkovat uudistukset. Keskeistä tällöin ovat omaksuminen ja ilmiöiden nopea kasvu, mutta myös odottamattomat laskusuhdanteet. Näkökulmat täydentävät hyvin toinen toistaan ja jakamista voikin pitää yhtenä 2000-luvun alun merkittävänä ilmiönä, jonka voi sanoa todella tehneen muutoksia vallitseviin näkemyksiin esim. taloudesta, yhteisöistä ja resurssien käytöstä.

Yksi ja ehkä merkittävin jakamisen nykypäivän ilmentymä onkin jakamistalous, jonka periaatteiden mukaan yhteiskäyttöpalvelut käytännössä toimivat. Harmaala et al.:n (2017) mukaan jakamistalouden taustalla voidaan pitää osittain samoja tekijöitä kuin itse jakamisen, mutta jakamistalouteen liittyvät vahvasti myös kuluttamisen ja työn muutokset sekä tietysti digitalisaation että avoimen lähdekoodin periaatteet. Kulutusmuutosten

taustalla vaikuttaa merkittävästi huoli maapallon kantokyvystä sekä ilmastonmuutoksesta ja työn osalta kyse on siirtymisestä nk. freelancereihin sekä mikro- ja kevytyrittäjyyteen tavanomaisten työsuhteiden sijaan. Yhdessä digitalisaatio ja ennen kaikkea ihmisiä yhdistävä internet toimivat alustana jakamistaloudelle ja näiden sovellukset tarjoavatkin helposti käytettävän sekä suuren määrän ihmisiä tavoittavan väylän jakamistareiden täyttämiseksi.



Kuva 1. Jakamistalouden eri ulottuvuuksia (Harmaala et al. 2017, s. 27)

Jakamistaloudelle ei ole olemassa yksiselitteistä määritelmää ja sen sovelluksiksi voidaan lukea varsin erilaisia taloudellisen vaihdon muotoja. Tästä syystä aihetta voikin tarkastella eri näkökulmista sekä alatermein, jotka selventävät jakamistalouden monia ulottuvuuksia (Kuva 1). Toisaalta monien näiden ulottuvuuksien näkökulmasta jakamistalouden käyttäminen yleisterminä voi olla ongelmallinen, sillä alakategorioihin kuuluvat toimijat eivät koe toimintansa edustavan jakamistaloutta vaan perinteiseen toimintatapaan on saatettu vain yhdistää uusia elementtejä esimerkiksi digitalisaation avulla. (Harmaala et al. 2017)

2.2 Toimintamallit

Yhteiskäyttöpalveluiden toimintatapa voi olla Harmaala et al.:n luokittelun (Kuva 1) perusteella lähinnä joko käyttöoikeustaloutta, alustataloutta tai solidaarisuustaloutta. Käyttöoikeustaloudessa toiminta muistuttaa perinteistä vuokraustoimintaa, mutta palvelun ylläpitäjä ei välttämättä omista tavaroita, joihin asiakkaat hankkivat määräaikaista käyttöoikeuksia, jolloin ylläpitäjä toimii eräänlaisen välittäjän roolissa. Käyttöoikeustaloudessa keskeisenä ajatuksena on omistamistarpeen vähentäminen ja resurssien vapauttaminen laadun ja tarjonnan parantamiseen. (Harmaala et al. 2017, s. 27)

Alustataloudessa luodaan palvelujen tai tavaroiden erimuotoista liiketoimintaa varten alusta (tavallisesti digitaalinen verkkopalvelu), jossa tai jonka välityksellä niin kuluttajat kuin yritykset voivat toimia (Acquier et al. 2017). Yhteiskäyttöpalveluille tämä tarkoittaa yleensä välityskanavaa, jossa palveluiden ja tuotteiden käyttäjät sekä tarjoajat kohtaavat ja voivat useimmiten hoitaa myös maksamisen.

Solidaarisuustaloudessa pyrkimyksenä on tuottaa yhteisönsä jäsenille yhteisresurssien avulla turvaa ja tasa-arvoa. Kyseessä on myös vahvasti politisoitunut ideologia, jossa pyritään luomaan vaihtoehtoisia toimintamalleja kapitalismin vastustamiseksi. (Harmaala et al. 2017, s. 28) Yhteiskäyttöpalvelu voi edustaa tätä toimintatapaa tarjoamalla juurikin yhteisten resurssien hyödyntämistä, olemalla esimerkiksi voittoa tavoittelematon yhdistys tai jakamalla tuottoja jäsenilleen osuuskuntien tapaan.

Yhteiskäyttöpalveluissa oleellista kuitenkin on, että palvelu tai tuote on useiden asiakkaiden käytettävissä joko yhtäaikaaisesti tai vuorotellen niin, että palvelun tai tuotteen omistamiseen ja käyttämiseen kuluvia resursseja voidaan jakaa. Henkilöauto on yleinen esimerkki yhteiskäyttöisyyden hyödyntämisestä niin palveluna kuin tuotteena. Auto itsessään voi olla yhteiskäyttöinen, jolloin sen saa vuokrattua ajettavakseen, mutta auto voi olla myös yhteiskäytön alusta, kun sen avulla tarjotaan kyydityspalveluja. Yhteiskäyttöpalvelut eivät sinänsä ole uusia, vain jakamistalouden myötä tulleita palveluja ja liiketoimintaa vaan esimerkiksi joukkoliikenne, taloyhtiöiden saunat, kirjastot ja kuntosalit ovat noudattaneet samaa ideaa jo varsin kauan (Harmaala et al. 2017, s. 44).

Myös yhteiskäyttöpalveluiden sekä jakamistalouden toimintamallit voidaan jakaa erilaisiin ryhmiin näkökulmasta riippuen. Harmaala et al. (2017, s. 45) jaon mukaan yhteiskäyttöpalvelut voivat olla liiketoimintana lähinnä joko tuote palveluna tai yhteisöllisen elämäntavan mukaisia. Tuote palveluna -ryhmässä on yleensä kyse harvoin käytössä olevien tavaroiden ja tuotteiden tarjoamisesta muiden käytettäväksi, mikä voi nostaa niiden käyttöastetta ja vähentää omistamisesta tai ostamisesta muodostuvia kuluja. Yhteisöllisen elämäntavan -ryhmässä tärkeimmät syyt palvelun tuottamiseksi tai käyttämiseksi

ovat ihmisiin tutustuminen, omien resurssien ja osaamisen jakaminen sekä halu tehdä hyvää ja vaikuttaa asioihin. Kolmanneksi ryhmäksi on nostettu puolestaan kierrätysmarkkinat. (Harmaala et al. 2017) Viimeksi mainitun ryhmän toiminta on lähinnä käytettyjen tavaroiden jälleenmyyntiä internetin ja sosiaalisen median markkinapaikoilla, joten se ei edusta jakamistaloutta kuin resurssien tehokkaamman käytön osalta eikä siinä ole lainaamistarjouksia lukuun ottamatta juurikaan varsinaista yhteiskäyttöisyyttä.

Euroopan komission mukaisesti PricewaterhouseCoopers (2017) jakaa jakamistalouden suurimmat toimijat puolestaan viiteen markkinasektoriin:

- majoitus ja tilavuokraus,
- vertaisliikenne ja autonjako,
- kotitalous- ja pientyöt,
- ammatilliset palvelut sekä
- joukkorahoitus.

Näissä yhteiskäyttöpalvelut sijoittuvat käytännössä neljään ensimmäiseen sektoriin, sillä joukkorahoittamisen osalta voidaan ajatella, ettei rahaa varsinaisesti käytetä yhteisesti, vaan se on vaihdannan ja sijoittamisen väline. Palveluiden ja osaamisen rooli yhteiskäytössä on myös varsin tulkinnanvarainen, sillä ne eivät sisällä kovin konkreettisia asioita, joiden omistamisen tai vajaakäytön kustannuksia oltaisiin suoranaisesti jakamassa. Toisaalta asian voi nähdä myös niin, että useat voivat hyötyä jonkun toisen kerryttämästä osaamisesta ja saavat vuorollaan maksua vastaan siihen eräänlaisen käyttöoikeuden. Jakamistalouden alustat toimivat tällöin nimenomaan helposti lähestyttävänä välityskanavana kysynnän ja tarjonnan välillä sekä muodostavat liiketoimintaa siellä, missä se on aiemmin mahdollisesti jäänyt toteutumatta tai yksinkertaisesti se vain hyödyntää paremmin eri tarjoajien vahvuuksia asioiden toteuttamiseen. Tässäkin yhteydessä voidaan huomata, että yhteiskäytön ja jakamistalouden tarkastelu on varsin riippuvainen näkökulmasta eikä luokittelua useinkaan ole syytä pitää kovin tarkasti rajaavana.

Ehkä selkein luokittelu, joka voidaan tehdä niin yhteiskäyttöisten kuin jakamistalouden kannalta on se, miten yhteiskäytön kohteena olevien tuotteiden tai palveluiden omistajuus- ja palvelutarjonta-asiat on järjestetty. Botsman (2013) jaottelee nämä yritysten ja ihmisen väliseen (engl. Business-to-Consumer eli B2C), ihmisten väliseen (Peer-to-Peer eli P2P), ja yritysten väliseen (Business-to-Business eli B2B). Liikennevirasto (2018b) täydentää jaottelua vielä erottamalla instituutiot eli käytännössä julkinen sektori, järjestöt ja säätiöt omaksi luokakseen, mikä on esimerkiksi Suomessa varsin yleinen käytäntö (mm. kirjastot, paikallisliikenne, kaupunkipyörät). Kuvassa 2 on luokiteltu muutamia liikennesektorilla toimivia yhteiskäyttöpalveluita, jotka ovat kuluttajien saatavilla eli B2B-palvelut on rajattu pois.



YKSILÖT MAHDOLLISTAJINA (P2P)

Parkkipaikat kiertoon

Plonk-aplikaatio auttaa vapaan parkkipaikan löytämisessä. Autopaikkojen omistajat listaavat vapaat paikat, ja paikan tarvitsevat löytävät ne mobiilisovelluksen karttapalvelun avulla. Myös maksaminen tapahtuu sovelluksen kautta reaaliajassa. Suomessa toimii esimerkiksi Rent a Park -palvelu.

YRITYKSET MAHDOLLISTAJINA (B2C)

Yhteiskäyttöleasing

Ford on julkistanut autojen yhteiskäyttöleasingin, jossa sopimuksen tehnyt enintään 6 henkilön ryhmä saa auton lisäksi käyttöönsä mobiilisovelluksen. Sovelluksen avulla auton käytön, maksujen sekä huoltojen koordinointi on helppoa.

Auton koeajopalvelu

Taksiyhtiö tarjoaa asiakkailleen autojen koeajopalvelua, ja auton voi ostaa sovelluksen kautta. Lisäetuja voi ansaita, jos tarjoaa autonsa edelleen koeajokäyttöön muille.

Julkisen liikenteen täydentäminen

Autonvalmistaja tarjoaa julkisen liikenteen shuttle bus -palveluja alueille, jotka ovat muuten heikosti julkisen liikenteen piirissä. Matkustajat tilaavat kuljetuksen mobiilisovelluksella ja nousevat kyytiin pop up -pysäkillä. Reitti optimoidaan aina matkustajien tarpeen mukaan.

INSTITUUTTIOT MAHDOLLISTAJINA

Kaupunkipyörät

Maaillalla eletään kaupunkipyöräbuumia ja erilaisia ratkaisuja syntyy jatkuvasti. Esimerkkinä HSL:n Alepa-fillarit.

Kuva 2. Yhteiskäyttöpalveluiden liiketoimintamuotoja liikennealalla (Liikennevirasto 2018b, s. 18).

2.3 Vaikutukset

Kun kuluttamisessa siirrytään omistamisen sijaan käyttämiseen, vaikuttaa se merkittävästi myös eri markkinoihin. Esimerkiksi jokainen autojen yhteiskäyttöpalvelu car2go:n käyttöön tuoma yhteiskäyttöauto vähensi arvioiden mukaan keskimäärin 7–11 yksityisomisteista henkilöautoa viiden Pohjois-Amerikan kaupunkien teiltä (Martin & Shaheen 2016). Vertaismajoituspalvelu Airbnb on puolestaan vaikuttanut hotellien tuloihin vähentämällä niitä esimerkiksi Austinin (Texas, USA) alueella keskimäärin 8–10 % (Zervas et al. 2017), ja nostamalla myös sekä asuntojen hintoja että vuokria USA:ssa (10 % lisäys Airbnb:n tarjonnassa nosti hintoja 0,65 % ja vuokria 0,38 %) (Barron et al. 2017).

Yhteiskäyttöpalveluiden vaikutuksia liikenteeseen on tutkittu oikeastaan vain niiden palveluiden osalta, jotka toimivat juuri liikenne- ja kuljetussektorilla. Jakamistalous yleisesti on muuttanut radikaalisti yritysten toimikenttää, ja uudet yritykset harjoittavat liiketoimintaa aiempaan verrattuna aivan erilaisilla malleilla, mutta monien palvelujen kohdalla ei

ole kuitenkaan tarkasteltu, miten ne vaikuttavat ihmisten liikkumiseen. Kuljetussektorin ulkopuolelta on tehty ainakin yksi kyselytutkimus Airbnb:n vaikutuksista matkustamiseen ja sen tulokset viittaavat ainakin siihen, että edullinen majoitus mahdollistaa matkustelun aiempaa useammin, ja laaja majoitustarjonta laajentaa myös matkakohdetarjontaa, mikä suuntaa etenkin lomamatkoja myös uusille alueille (Tussyadiah & Pesonen 2016). Tämän tutkimuksen pohjalta on tosin vaikea tehdä johtopäätöksiä etenkin paikallisella tasolla, sillä vaikutukset jakautuvat laajalle alueelle ja Airbnb:tä hyödynnetään pääasiassa lomamatkoihin, joita tehdään muutamia kertoja vuodessa (Ju et al. 2018, Taulukko 6). Vaikutukset esimerkiksi globaaliin lentoliikenteeseen ja päästöihin voivat kuitenkin olla merkittävämmät ottaen huomioon sekä em. kasvaneen matkustustiheyden että Airbnb:n kautta tehdään yli kaksi miljoona yöpymistä joka yö (Airbnb 2018).

Liikennesektorilla toimivista yhteiskäyttöpalveluiden liikennevaikutuksista onkin tehty selkeästi enemmän tutkimuksia; esimerkiksi autojen yhteiskäyttöpalvelun car2go:n on arvioitu vähentävän Pohjois-Amerikkalaisissa tutkimuskaupungeissa palvelua käyttävien kotitalouksien vuosittaista henkilöautojen liikennesuoritetta ja pakokaasupäästöjä keskimäärin 10–11 % (Martin & Shaheen 2016). Helsingissä kaupunkipyörät ovat käyttäjille tehdyn kyselyn mukaan korvanneet etenkin lyhyitä joukkoliikenne- ja pitkiä kävelymatkoja, mutta 13 % vastaajista ilmoitti palvelun korvanneen myös automatkoja. Lisäksi kaikista vastaajista 69 % oli kokenut saaneensa ajallisia säästöjä palvelua käyttämällä. (HSL 2017) Kiinan Hangzhoussa kimpapakyytipalvelut DiDi Hitch a DiDi Express vähensivät arvion mukaan ajoneuvojen liikennesuoritetta lähes 60 000 km/vrk, mikä teki jo kaista palvelua käyttäneen yksittäisen henkilön tekemää matkaa kohden reilun 4 km vähennyksen (Chen et al. 2018).

3. LIIKENNEPÄÄSTÖT JA AKTIIVINEN LIKKUMINEN

3.1 Liikennepäästöt ja niiden vaikutukset

Tässä työssä käsitellään liikennepäästöjä vain ilmansaasteiden osalta, mikä rajaa melupäästöt tarkastelun ulkopuolelle. Mukaan on kuitenkin otettu tärkeimmät kasvihuonekaasut (pl. vesihöyry), sillä liikennesektori kokonaisuudessaan tuottaa niitä varsin merkittäviä määriä. Liikenne tuottaa suoria päästöjä kaasuina ja hiukkasina, kun kulkuneuvoissa energialähteenä käytetyt polttoaineet palavat. Hiilivetyjä (C_mH_n) sisältävät polttoaineet kuten bensiini, etanoli, (bio)diesel, maa- ja biokaasu, kerosiini tuottavat palaessaan pääasiassa vettä (H_2O), typpeä (N) ja hiilidioksidia (CO_2), mutta polttoaineiden epäpuhtauksien ja epätäydellisen palamisen vuoksi reaktiotuotteena ilmaan pääsee myös häkää eli hiilimonoksidia (CO), typenoksideja (NO_x), ilokaasua eli dityppioksidia (N_2O), hiilivetyjä (HC) ml. metaani (CH_4), lyijyä (Pb) (Suomessa tosin polttoaineet olleet lyijyttömiä vuodesta 1990), rikkidioksidia (SO_2) sekä erikokoisia hiukkasia (engl. Particulate Matter, PM). Liikenne tuottaa myös epäsuorina päästöinä otsonia (O_3) NO_x - ja HC-molekyyleistä fotokemiallisessa reaktiossa auringonvalon vaikutuksesta (WHO 2003). Lisäksi etenkin autojen liikkuessa syntyy hiukkaspäästöjä renkaiden ja talvirenkaissa olevien nastojen, tien ja jarrutusosien kulumisen vuoksi. (Hensher & Button 2003; Kalenoja & Kallberg 2006) Liikenne tuottaa päästöinä myös lukuisia muita yhdisteitä ja kaikkiaan niitä on tunnistettu yhteensä yli 1100 erilaista (EPA 2006). Liikenne tuottaa suorina pakokaasupäästöinä merkittävän osan Suomen kaikista CO-, CO_2 ja NO_x -päästöistä ja liikennesektorin sisällä tieliikenteen osuus on lähes kaikkien päästöryhmien osalta yli 65 % (Taulukko 1).

Taulukossa 1 on siis huomioitu liikenteen osalta vain pakokaasupäästöt, joten esimerkiksi $PM_{2.5}$ -päästöt ovat tieliikenteen osalta merkittävästi suuremmat em. kulumisien takia. Soimakallio et al. (2017) arvioivat tieliikenteen katupölyn vuosittaiseksi päästö määräksi n. 1100 t, joten $PM_{2.5}$ -kokonaispäästöt olisivat tällöin n. 2123 t, joka vastaa n. 10,4 % Suomen kokonaispäästöistä ja 84 % liikenteen päästöistä. Tarkempaa tietoa Tilastokeskuksen tietolähteistä ja laskentatavoista ei ole näiltä osin voitu selvittää, joten arviot liikenteen osuuksista ovat vain suuntaa-antavia.

Taulukko 1. Vuoden 2016 pakokaasupäästöt liikennevälineittäin ja näistä yhteenlasketut kokonaispäästöt Suomessa (VTT 2017) sekä Suomen kokonaispäästöt (Tilastokeskus 2016) eriteltynä päästöryhmittäin.

	Tieliikenne		Rautatieliikenne (diesel)		Vesiliikenne		Lentoliikenne		Liikenteen päästöt yhteensä	Suomen päästöt yhteensä	Liikenteen osuus
	[t]	[%]*	[t]	[%]*	[t]	[%]*	[t]	[%]*	[t]	[t]	[%]
CO	53 377	72 %	186	0,3 %	19 396	26 %	1 351	1,8 %	74 311	345 411	22 %
HC	6 691	66 %	80	0,8 %	3 305	33 %	84	0,8 %	10 161	276 788 ¹	3,7 %
NOx	32 844	76 %	1 428	3,3 %	8 231	19 %	826	1,9 %	43 329	177 997 ²	24 %
PM _{2.5}	1 023	71 %	30	2,1 %	379	26 %	6	0,4 %	1 438	20 507	7,0 %
CH ₄	650	81 %	4	0,5 %	150	19 %	4	0,4 %	807	189 487	0,4 %
N ₂ O	252	93 %	1	0,4 %	12	4,4 %	6	2,1 %	270	15 640	1,7 %
SO ₂	45	24 %	0	0,2 %	91	48 %	53	28 %	189	41 370	0,5 %
CO ₂	11 543 790	94 %	64 056	0,5 %	499 603	4,1 %	202 858	1,6 %	12 310 306	51 885 107	24 %

*liikenteen päästöistä

Liikenne aiheuttaa myös epäsuoria päästöjä, jotka syntyvät erityisesti polttoaineiden tuotannosta ja jakelusta, mutta lisäksi päästöjä muodostuu ajoneuvojen tuotannosta, kaupasta, korjaamisesta ja kierrätyksestä kuin myös tarvittavan infran rakentamisesta ja ylläpidosta. Nämä ovat osa nk. elinkaarianalyysiä (Life-Cycle Assessment eli LCA), jonka tavoitteena on tarkastella koko sektorin välittömiä ja välillisiä kokonaisvaikutuksia, ja joiden määrittäminen sekä kohdentaminen voi olla haasteellista eikä myöskään aina kovin tarkoituksenmukaista. (Kalenoja & Kallberg 2006)

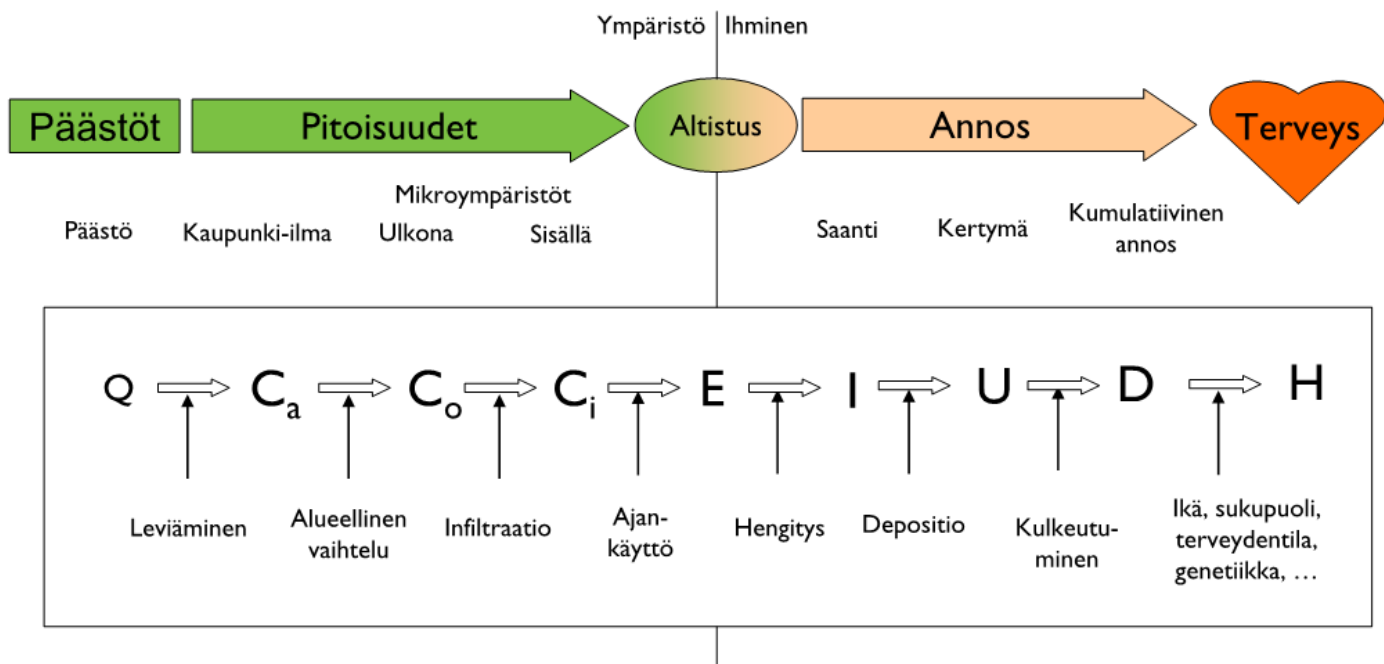
Yksi nykyisen henkilöautoliikenteen murroksen puheenaiheista on kuitenkin ollut henkilöautojen valmistamisen kasvihuonepäästöt. Yhden auton valmistaminen tuottaa nykyisin keskimäärin neljä tonnia hiilidioksidia (tCO₂), auton kierrätys n. 1 tCO₂ ja 15 vuoden käyttöajalla henkilöauton kokonaispäästöt ovat n. 36 tCO₂, jolloin valmistus ja kierrätys käsittävät n. 14 % auton koko elinkaaren päästöistä (Transport & Environment 2018). Suuremmat autot tosin yleensä kuluttavat sekä materiaaleja että polttoainetta enemmän, jolloin ne myös tuottavat elinkaarensa aikana enemmän päästöjä pieniin autoihin verrattuna. Ladattavat täyssähköautot eivät tuota suoria pakokaasupäästöjä paikallisesti, mutta niiden valmistaminen tuottaa Hawkins et al. (2013) mukaan tavanomaisiin polttomoottoriautoihin verrattuna kaksinkertaisesti kasvihuonekaasupäästöjä, ja pelkän litiumioni akuston päästöosuus sähköautojen tuotannossa on noin kolmannes. Akustoon ladattavan sähköenergian tuotantoon tarvitaan Euroopassakin fossiilisia polttoaineita, joten käytettäessä ns. keskivertoa eurooppalaista sähköä, sähköauton käytön aikaiset päästöt muodostavat nykyisellä tuotantojakaumalla hieman yli puolet koko elinkaaren päästöistä. Näistä syistä johtuen 200 000 km käyttöikänsä aikana ajettavan sähköauton

¹ Saatua laskemalla yhteen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (NMVOC) ja metaanin (CH₄) päästömäärät.

² Tilastokeskuksen tilastoissa saatavilla vain NO₂ -päästöt, joten liikenteen päästöosuuden tulisi olla laskettua pienempi, kun NO-päästöt nostaisivat hieman kokonaispäästö määrää.

kokonaiskasvihuonepäästöt ovat tällä hetkellä 27–29 % yhtä paljon ajettua tavanomaista bensiinikäyttöistä ja 17–20 % dieselikäyttöistä polttomootoriautoa alhaisemmat. Niin valmistus- kuin käytönaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä voikin vähentää merkittävästi hyödyntämällä uusiutuvaa energiaa sähkön tuotannossa, jolloin sähköä hyödyntävä liikenne saadaan mahdollisimman vähäpäästöiseksi. Myös akkujen uudelleenkäyttö ja kierrätys on huomioitava, kunhan prosessit vakiintuvat. Jotta sähkön ja polttoaineiden päästöjen vertailu olisi mielekästä, täytyy myös huomioida, että tuotanto sekä jakelu tuottavat n. 16 % (ml. polttaminen) bensiinin ja dieselin kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä (JRC 2014).

Tässä työssä käsitellään liikenteen pakokaasupäästöjen keskeisimmät päästöryhmät eli CO_2 , CO , NO_x , N_2O , HC , CH_4 , SO_2 , O_3 sekä PM, jotka esiintyvät ilmassa pääasiassa kaasuina tai aerosoleina. Nämä päästöt kulkeutuvat ja useimpien pitoisuudet laskevat, kun etäisyys päästölähteestä kasvaa. Useimmat ilmansaasteet poistuvat lopulta ilmakehästä märkänä tai kuivana laskeumana, tai muuntumalla toisiksi yhdisteiksi. Liikennepäästöt vaikuttavat suoraan tai välillisesti ihmisten terveyteen ja saattavat myös vahingoittaa ympäristöä. (Savolahti et al. 2018)



Kuva 3. Ilmansaasteiden vaikutusketju päästöjen muodostumisesta leviämisen ja altistumisen kautta kertymiseen elimistössä (Hänninen et al. 2016, kuva 4).

Liikennepäästöjen terveysvaikutukset noudattavat tavanomaista ilmansaasteiden vaikutusketjua (Kuva 3), jossa ilmassa olevat yhdisteet leviävät ulkona ja kulkeutuvat myös

sisälle, jolloin niille altistutaan käytännössä aina, kun päästöjen lähteet ovat riittävän lähellä. Kaikkien ilmansaasteiden altistumisen seurauksena Suomessa kuoli vuonna 2012 ennenaikaisesti n. 1 600 henkeä, joka vastaa n. 26 000 menetettyinä elinvuosina laskettuna. Vertailun vuoksi liikenneonnettomuuksissa menetettyjä elinvuosia oli samana vuonna n. 11 360, vaikka kuolleita oli selkeästi vähemmän (235 tapausta), mutta näiden osalta kuolleiden merkittävästi alhaisempi keski-ikä kasvattaa menetettyjen elinvuosien määrää. Pakokaasut ja tiepöly muodostavat yhteenlaskettuna yhden arvion mukaan keskimäärin 22 % Suomessa syntyvistä PM_{2.5}-päästöistä, jolloin ne yksistään aiheuttavat n. 240 ennenaikaista kuolemaa vuodessa. (Hänninen et al. 2016)

3.1.1 Hiilidioksidi (CO₂)

CO₂ on NTP-olosuhteissa (normaalilämpötila ja -paine, 293.15 K 101 325 Pa) väritön ja palamaton kasvihuonekaasu, joka voi absorboida infrapuna- eli lämpösäteilyä (infrared eli IR). Tämän ominaisuuden vuoksi maapallon olosuhteet ovat elämälle suotuisimmat, kun osa Auringon lämpösäteilystä jää kaasukehään kasvihuoneen tapaan ylläpitäen lämpötilaa, jossa suurin osa vedestä esiintyy nestemäisenä. Etenkin fossiilisten polttoaineiden polttamisen myötä hiilidioksidin määrä ilmakehässä on kuitenkin kasvanut lämmittäen ilmastoamme ja kiihdyttäen kasvihuoneilmiötä. (UCAR 2012) Tämä puolestaan aiheuttaa monenlaisia globaaleja ongelmia kuten jäätiköiden sulamista ja siitä aiheutuvaa meren pinnan nousua. Myös elinympäristöjen muuttuminen saa eläinlajit siirtymään uusille alueille, viljelykasvien satomäärät ovat laskeneet, sään ääri-ilmiöt kuten myrskyt, lämpöaallot, metsäpalot lisääntyvät. (IPCC 2014) Liikennepäästöinä CO₂:lla on merkittävä rooli globaalisti, sillä liikenne tuottaa sekä suoraan pakokaasupäästöinä että epäsuorasti tuotannon kautta varsin suuren määrän CO₂-päästöjä ilmakehään, mikä on osaltaan kiihdyttänyt ilmaston lämpenemistä ja siitä aiheutuvia haittoja. Paikallisesti CO₂-pitoisuudet eivät liikenteen vuoksi kasva niin suuriksi, että se vaikuttaisi ihmisen hyvinvointiin, sillä altistumisen ensioireet kuten päänsärky vaatii yleensä yli 2 % (20 000 ppm) pitoisuuden (Työterveyslaitos 2017a).

3.1.2 Hiilimonoksidi (CO)

CO on CO₂:n tapaan väritön ja hajuton, mutta myrkyllinen ja NTP-olosuhteissa erittäin helposti syttyvä kaasu, jota muodostuu pääasiassa epätäydellisessä palamisreaktiossa, jolloin vapaat CO-molekyylit eivät pääse palamaan CO₂:ksi ja CO:ta jää tällöin ilmaan. (Työterveyslaitos 2015) CO:n elinikä ilmakehässä riippuu ilmasto-olosuhteista, joten se vaihtelee kesäisten tropiikkien 10 päivästä talvien napa-alueiden yli vuoteen, mutta sillä ei ole sellaisenaan ilmastoa lämmittävää vaikutusta vaan sen täytyy ensin palaa CO₂:ksi (WMO 2010, s. 35).

CO voi aiheuttaa ihmiselle oireita jo pieninä pitoisuuksina ($50 \text{ ppm} = 58 \text{ mg/m}^3$), sillä se sitoutuu happea 200 kertaa herkemmin veren hemoglobiiniin vähentäen tällöin kudosten hapensaantia, mikä puolestaan suurina pitoisuuksina (yli $1\,000 \text{ ppm}$) ja tarpeeksi pitkällä altistusajalla johtaa kuolemaan. CO ei tosin kerry elimistöön vaan se poistuu keuhkojen kaasunvaihdon myötä kokonaan parissa päivässä. (Työterveyslaitos 2015) Eri tutkimuksissa tehtyjen mittausten perusteella CO-pitoisuudet saattavat bussin sisällä, ruuhkai- sessa liikenneympäristöissä ja Mexico Cityn 1990-luvun autokannalla nousta jopa yli 100 ppm , mutta Euroopassa tehdyissä mittauksissa jalankulkuympäristöjen pitoisuudet olivat alle 15 ppm (Kaur et al. 2007). Liikenteen CO-päästöt ovat myös vähentyneet merkittä- västi 1990-luvun alun jälkeen, kun katalysaattorit ovat yleistyneet (Valerio et al. 2009; WHO 2003; VTT 2019b).

3.1.3 Typen oksidit (NO_x)

NO_x -päästöjä (typpimonoksidi eli NO ja typpidioksidi eli NO_2) syntyy, kun ilmassa oleva typpi palaa korkeassa lämpötilassa ja paineessa (esim. polttomootorissa). Liikenteen pakokaasupäästöinä syntyy pääasiassa kaasumaista NO:a, joka hapettuu ilmassa vähi- tellen NO_2 :ksi. (VTT 2019a) NO_x -päästöt eivät myöskään ole itsessään kasvihuonekaa- suja, mutta auringon valon vaikutuksesta ne muuttuvat fotokemiallisessa reaktiossa O_3 :ksi, sekundaariaerosoleiksi ja typpihapon eli HNO_3 :n välityksellä PM:ksi (WHO 2003, s. 46; WMO 2010, s. 41).

Suuret ilman NO_2 -pitoisuudet voivat lyhytaikaisessa altituksessa aiheuttaa oireita keuh- koissa ja keuhkoputkessa sekä tehostaa allergeenien vaikutusta, mutta näin suuria pi- toisuuksia voi mahdollisesti esiintyä lähinnä vain tietunneleissa. Tavanomaisissa ympä- ristöissä NO_2 -pitoisuudet ovat näitä alhaisempia ja sisältävät myös NO_2 :n reaktiotuotteita sekä muita terveydelle haitallisia yhdisteitä, joten NO_2 :n suorat pitkäaikaiset terveysvai- kutukset ovat hyvin vähäisiä eikä niitä nykytutkimuksen tiedoilla pystytä riittävällä tark- kuudella kohdistamaan juuri NO_2 :n aiheuttamiksi. Näin ollen NO_2 toimii enemmän indi- kaattorina pakokaasupäästöjen pitoisuus- ja kulkeutumismittauksissa. (WHO 2003; Sa- volahti et al. 2018) NO_x -päästöt ja niiden reaktiotuotteet aiheuttavat haittaa ympäristölle happamoittamalla vesistöjä ja maaperää muuttaen samalla ravinnetasapainoa, mikä joh- taa ekosysteemien rehevöitymiseen. Happamoituneet sateet tekevät vahinkoa myös metalleihin ja huokosiin kivrakenteisiin. (Savolahti et al. 2018) Merien syvänteisiin kul- keutuvat NO_x -päästöt myös kasvattavat biologisten prosessien kautta CO_2 - ja N_2O -pääs- töjä (Syakila & Kroeze 2011).

3.1.4 Dityppioksidi (N_2O)

Pitkäikäinen, väritön, hajuton ja syttymätön N_2O on ilmakehän lämpösäteilyn absorboinnin kannalta kolmanneksi merkittävin kasvihuonekaasu CO_2 :n ja CH_4 :n jälkeen ja sen määrä ilmakehässä on kasvanut 1750-luvun jälkeen 150 % (IPCC 2013). Lisäksi N_2O -päästöt ovat tällä hetkellä merkittävin otsonikadon aiheuttaja (UNEP 2013).

N_2O syntyy liikenteessä erityisesti katalysaattoreilla varustetuista autoista, sillä katalysaattorin tehtävä on vähentää NO_x -päästöjä muodostamalla katalyytin avulla mm. N_2O :a. Tämän lisäksi ainakin biopolttoaineiden tuotannossa syntyy jonkin verran N_2O :a etenkin silloin, kun sitä varten joudutaan viljelemään maata typpilannoitteiden avulla. (Wallington & Wiesen 2014) Globaaleista N_2O :n vuotuisista kokonaispäästöistä n. 60 % syntyykin maataloudesta typpilannoitteiden nitrifikoitumisen sekä denitrifikoitumisen välituotteena (Duce et al. 2008; Ruser et al. 2006; Syakila & Kroeze 2011), ja Wallington & Wiesen:n (2014) arvion mukaan vain n. 3 % muodostuu suoraan liikenteen pakokaasupäästöistä. Liikenteen tuottamat N_2O -päästöjen pitoisuudet ruuhkaisinkin liikenneympäristön ilmassa jäävät Rout et al. (2005) mukaan alle 0,5 ppm, mikä ei aiheuttane pidemmälläkään altistuksella terveysvaikutuksia, sillä esimerkiksi Työterveyslaitoksen raja-arvo työilmapitoisuudelle on 100 ppm (Bäck 2011).

3.1.5 Hiilivedyt (HC)

HC-päästöryhmään kuuluvat pakokaasupäästöjen eri hiilivety-yhdisteet (ml. CH_4), joita vapautuu ilmaan erityisesti bensiinimoottoreiden pakokaasupäästöinä, kun polttoaine ei pala täydellisesti, mutta myös höyryinä polttoaineiden tankkauksen ja tuotannon yhteydessä. (Hensher & Button 2003, s. 65) Osa HC-yhdisteistä on myrkyllisiä, kuten polysykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH-yhdisteet (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli (NM)VOC (Non-Methane Volatile Organic Compound), aldehydit, ketonit, bentseeni. Lisäksi myös mm. orgaaniset happoyhdisteet, parafiinit, olefiinit, aromaattit kuuluvat HC-yhdisteisiin. Osa palamattoman polttoaineen HC-ketjuista voi korkeassa lämpötilassa pilkkoutua (krakkautua) pienemmiksi sekä lyhyet ketjut voivat yhdistyä (polymerisoitua) pidemmiksi, jolloin muodostuu eri HC-yhdisteitä. (Laurikko 1992)

Monet PAH-yhdisteet, bentseeni, formaldehydi (kuuluu aldehydeihin) ja VOC ovat karsinogeenisiä ja kohottavat etenkin suurina altistuspitoisuuksina syöpäriskiä (Jones 1999; WHO 1992). Useat HC-yhdisteet aiheuttavat lähinnä ärsytystä hengityselimissä ja suurempina pitoisuuksina myös päänsärkyä ja huimausta. Akuutit terveysvaikutukset kuitenkin aiheutuvat suurelta osin epäsuorasti niiden edistäessä otsonin muodostumista

sekä, kun elimistön aineenvaihdunta reagoi HC-yhdisteisiin ja tuottaa reaktiotuotteina myrkyllisiä yhdisteitä. (Lappi & Rihko 1996; WHO 1992)

3.1.6 Metaani (CH₄)

Kuten em. CH₄ kuuluu hiilivetyihin, mutta se yleisesti käsitellään itsenäisesti sen vaikutusten vuoksi. CH₄ on hajuton, ilmaa keveämpi, herkästi syttyvä ja CO₂:ta 23 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu, mutta se on jokseenkin lyhytikäinen (n. 12 vuotta). Pakokaasupäästöinä CH₄:a syntyy nykyisin varsin vähäisiä määriä kolmitoimikatalysaattorien vähentäessä niitä tehokkaasti. Liikenteen tuottaman CH₄:n osuus ilmaston lämpenemisestä onkin arvion mukaan vain n. 0,3–0,4 %. (Nam et al. 2004)

CH₄:a vapautuu ilmakehään merkittäviä määriä niin luonnollisista lähteistä kuin ihmisten toiminnan seurauksena. Kokonaispäästöt jakautuvat arviosta ja laskentatavasta riippuen niin, että 35–50 % muodostuu luonnollisista lähteistä ja loput ihmisen toiminnasta. 90 % luonnossa syntyvästä CH₄:sta syntyy kosteikoissa ja vesistöissä. Ilmaston lämmetessä ja napajäätiköiden sekä ikiroudan sulaessa ilmaan vapautuu maahan sitoutuneita kaasuja, jotka sisältävät erityisesti CH₄:a ja tämä voikin tällä vuosisadalla muodostua merkittäväksi päästölähteeksi, mutta ainakin toistaiseksi päästömäärät ovat olleet varsin vähäisiä. (IPCC 2013, taulukko 6.8) Uuden arvion mukaan Grönlannin jäätiköiden alla on laajoja CH₄:a tuottavia aktiivisia kosteikkoja, joiden kesäisten sulamiskausien aikana vapauttavia päästöjä ei ole aiemmin huomioitu ja, joista voi tulla vielä merkittävämpi päästölähde, mikäli jäätiköt jatkavat pienentymistään ilmaston lämpenemisen myötä. (Lamarche-Gagnon et al. 2019)

Ihmisten tuottamana suurimmat CH₄-päästölähteet ovat maatalous (sen osalta erityisesti märehtijöiden ja riisin kasvatusta) sekä fossiilisten polttoaineiden ja biomassan kuten liikenteen biopolttoaineiden polttaminen. Kummankin osuus ihmisperäisistä päästöistä on lähes 40 % eli yhteenlaskettuna ne käsittävät lähes 80 % näistä päästöistä. (IPCC 2013, taulukko 6.8) Riisin kasvattaminen liikenteen biopolttoaineeksi (ja etenkin viljelyksien laajentaminen sitä varten) voisi siis kasvattaa liikenteen metaanipäästöjä, vaikkakin tämän on arvioitu olevan ainakin Japanissa niin ekologisesti kuin taloudellisesti kannattamatonta (Lu et al. 2012).

Vaikka CH₄:a syntyy suuria määriä, päästöistä n. 90 % myös poistuu pääasiassa OH-radikaalien hapettaessa sitä erityisesti troposfäärissä ja pienemmissä määrin stratosfäärissä. Ilmakehän CH₄-pitoisuuksien on arvioitu hieman jopa vähentyneen 1980-luvulta lähtien, mutta Aasian kasvaneen energiatuotannon vuoksi pitoisuudet ovat 2000-luvulla kääntyneet takaisin kasvuun. (IPCC 2013) Hapettumisreaktion tuotteena syntyy kuitenkin O₃:a, mikä puolestaan aiheuttaa erilaisia terveysongelmia erityisesti hengityselimissä

(Sarafim et al. 2017). CH₄ sellaisenaan ei aiheuta terveydelle haittaa, mutta esim. hengitettynä suurina pitoisuuksina (yli 17 %) se johtaa elimistön hapenpuutteeseen (Työterveyslaitos 2017b).

3.1.7 Rikkidioksidi (SO₂)

SO₂ on NTP-olosuhteissa väritön, pistävän hajuinen kaasu, joka syövyttää vesiliuoksena (rikkihapoke H₂SO₃) mm. monia metalleja. Ilmassa SO₂ hapettuu hitaasti myös SO₃:ksi (rikkitrioksidi), joka reagoi ilman kosteuden kanssa muodostaen rikkihappoa (H₂SO₄), jota muodostuu hapettumalla myös H₂SO₃:sta. (Työterveyslaitos 2017c) SO₂-päästöt ovatkin keskeisessä roolissa sateita happamoittavan vaikutuksen vuoksi. Happamat sateet muuttavat puolestaan maaperän ja vesistöjen pH:ta sekä poistavat niistä mineraaleja ja ravinteita, mitkä puolestaan heikentävät monien eliölajien lisääntymiskykyä sekä selviytymismahdollisuuksia. (EPA 2018b; EPA 2018a)

Vaikka liikenteenkin SO₂-päästöjä on vuonna 1993 voimaan tulleen Euroopan Unionin (EU) direktiivin ansiosta vähennettyä EU-alueella merkittävästi, arvellaan päästöillä silti olevan yhteys lasten astmaoireiden ilmaantumiseen pienilläkin pitoisuuksilla (Sunyer et al. 2003; Henschel et al. 2013). Myös Hong Kongissa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin kuolleisuuden vähentyneen erityisesti hengityselinsairauksiin sen jälkeen, kun polttoaineiden rikkipitoisuuksia rajoitettiin (Hedley et al. 2002). SO₂:n yhteydestä terveysongelmiin ei olla aivan yksimielisiä, sillä tutkimustiedossa on edelleen puutteita niin lyhyt- kuin pitkäaikaisen altistuksen suhteen ja lisäksi SO₂:sta syntyy reaktiotuotteina erilaisia yhdisteitä, joista mm. ammoniumsulfaatti ((NH₄)₂SO₄) esiintyy arvioissa usein PM:nä. Näin ollen terveysvaikutuksia ei voida yksinkertaisesti kohdentaa vain SO₂:n aiheuttamiksi. Selkeitä viitteitä SO₂:n haitallisuudesta on kuitenkin havaittu useissa tutkimuksissa ja SO₂:n arvioidaankin tekevän myös PM-päästöistä haitallisempia silloin, kun ne esiintyvät yhdessä. (Henschel et al. 2013; WHO 2006) Vuodesta 2009 lähtien EU-alueella tieliikenteen polttoaineille on asetettu 10 ppm rikkipitoisuusrajoitus, jolloin SO₂-päästöjä muodostuu polttomoottoriautoissa vain vähäisiä määriä, vaikkei niitä voida pakokaasuista juurikaan poistaa. (Euroopan parlamentti & Euroopan unionin neuvosto 2009)

Merkittävin osa liikenteen SO₂-päästöistä syntyykin laivaliikenteestä, jossa yhä käytetään rikkipitoista raskasta polttoöljyä. (Kalenoja & Kallberg 2006; VTT 2019a) Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO onkin asettanut uuden rajoitteen polttoaineiden rikkipitoisuudelle vuoden 2020 alusta alkaen, jolloin sallittu rikkipitoisuus laskee 3,5 %:sta 0,5 %:iin. Vuodesta 2006 lähtien IMO on tuonut voimaan tiukempia rajoituksia nk. ECA-merialueille (Emission Control Area), mikä ensin rajoitti Itämerellä liikennöivien aluksien polttoaineiden rikkipitoisuuden 1,5 %:iin ja myöhemmin rajoituksen piiriin tuli Pohjanmeri

2007, Pohjois-Amerikan merialueet 2012 sekä Karibian meri 2014. Rajoitusta kiristettiin 2010 1,0 %:iin ja 2020 lähtien näiden alueilla käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuusrajoitus kiristyy 0,1 %:iin. Amerikan ECA-alueilla on voimassa myös PM-päästörajoituksia, jotka ovat tulleet voimaan rikkirajoitusten kanssa samaan aikaan. Lisäksi Amerikan ECA-alueille on tullut 2016 voimaan NO_x-rajoituksia, jotka ovat tulossa 2021 myös Itämerelle sekä Pohjanmerelle. (IMO 2016; IMO 2018)

3.1.8 Hiukkaspäästöt (PM)

Suoria eli primäärisiä PM-päästöjä syntyy niin polttoaineiden palamisprosessien tuotteina kuin tien, renkaiden ja niissä olevien nastojen, jarrutusosien mekaanisessa kulumisessa. Lisäksi teiden liukkauden torjunnassa käytetään hiekkaa, kiviainesmurskeita sekä suoloja, jotka jauhautuvat ja nousevat ilmavirtojen myötä hiukkasina ilmaan nk. resuspensiona. PM-päästöt ovat monimutkainen sekoitus eri yhdisteitä, joilla on erilaisia kemiallisia sekä fysikaalisia ominaisuuksia ja vaikutuksia. Niitä syntyy sekä suoraan että välillisesti ja ne myös muuntautuvat ilmakehässä tämän jälkeen. PM-päästöjä arvioidaan kuitenkin lähinnä hiukkasten koon perusteella, sillä se vaikuttaa niiden aerodynaamisiin, kemiallisiin sekä fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten kulkeutumiseen, mikä puolestaan vaikuttaa mm. siihen millaisia terveysvaikutuksia eri kokoisilla hiukkasilla on. Hiukkaset luokitellaankin koon perusteella yleisesti kolmeen luokkaan:

- karkeisiin hiukkasiin (yli 2,5 µm)
- pienhiukkasiin (alle 2,5 µm) eli PM_{2.5}
- sekä hyvin pieniin hiukkasiin (alle 0,1 µm, engl. ultrafine particle) eli UFP.

Usein tehdään myös rajausta 10 mikrometrin kohdalle (PM₁₀), sillä tätä pienemmät hiukkaset pystyvät kulkeutumaan keuhkoihin asti. (WHO 2006, s. 218–219)

Karkeat hiukkaset ovat muodostuneet lähinnä mekaanisesti lohkeamalla isommista hiukkasista tai kappaleista, mutta ne voivat mahdollisesti olla peräisin myös biologista lähteistä. Pääasiallisesti ne sisältävät kuitenkin katu- tai tiepölyä ja rannikkoseuduilla myös läheisiltä merialueilta tulevia liukoisia orgaanisia hiili- (DOC/DOM, Dissolved Organic Carbon/Matter) tai merisuolahiuksia. Lisäksi karkeita hiukkasia voi päästä ilmaan polttoaineiden palamattomien epäpuhtauksien vapautuessa pakokaasujen mukana. (WHO 2006, s. 219)

PM_{2.5}-päästöjä muodostuu lähinnä kaasuista, mutta jossain määrin myös palamisproesseista. Tämän kokoluokan hiukkaset muodostuvat, kun korkeassa lämpötilassa otolliset aineet höyrystyvät ja alkavat muodostaa ytimiä eli tapahtuu nukleatioita, mutta näitä ytimiä syntyy myös ilmakehän kemiallisissa reaktioissa. Ytimet ovat ensin hyvin pieniä hiukkasia ja ne alkavat tämän jälkeen joko kasaantua kiinni toisiinsa tai sitten niitä

ympäröivien kaasujen molekyylit tiivistyvät, yleensä jo hieman suurempien hiukkasten pinnalle. Koska nämä reaktiot vähenevät, kun hiukkasten koko kasvaa, niin tavallisesti hiukkasen koon yläraja tulee vastaan noin yhdessä mikrometrissä. Tästä johtuen ilmassa olevien pienhiukkasten koko vaihtelee pääasiassa 0,1–1 µm välillä, kun uusia pienhiukkasia muodostuu sopivien olosuhteiden vallitessa jatkuvasti lisää. Alle 1 µm hiukkaset ovatkin pääasiassa tietyistä kaasuista (NO_x, SO₂, VOC, NH₃) välillisesti muodostuvia partikkeleja ja ne koostuvat lähinnä nitraateista, sulfaateista, alkuainehiilestä, orgaanisista yhdisteistä ja hivenaineista (elävien organismien tarvitsemia metalleja). Alle 1 µm hiukkaset sisältävät myös suurimman osan vetyioneista (H⁺), jotka tekevät PM-päästöistä happamia. (WHO 2006, s. 219–220) Esimerkiksi biomassan poltosta muodostuu lähes pelkästään alle 1 µm hiukkasia (Hueglin et al. 1997).

UFP:tä muodostuu pääasiassa palamisprosesseissa sekä kaasumaisten epäpuhtauksien valohapettumisen myötä. Nämä hiukkaset ovat varsin lyhytikäisiä, sillä niiden tavanomainen puoliintumisaika ilmassa on noin tunti. (WHO 2006, s. 265) Lukumäärällisesti mitattuna suurin osa ilmassa olevista partikkeleista on UFP:tä, mutta massan osalta ne käsittävät vain pienen osuuden. Näiden hiukkasten kemiallinen koostumus riippuu päästölähteestä sekä muodostumisprosesseista, mutta pääasiallisesti ne sisältävät samoja yhdisteitä kuten muutkin PM_{2,5}-päästöt, joiden joukkoon ne yleensä luetaankin mukaan. Palamisprosessien yleisin UFP on kuitenkin noki, jota muodostuu, kun palamisprosessissa on ylimäärä poltettavaa ainetta eli hiilivetyjä poltetaan ns. rikkaalla. (Morawska et al. 2004, s. 1–2)

Noen osalta on huomattava, että kirjallisuudessa käytetty termistö ei ole aivan vakiintunut ja toisinaan nokeen voidaan viitata myös termillä musta hiili (Black Carbon eli BC), joka on voimakkaasti valoa absorboiva materiaali, mutta sitä ei ole kuitenkaan selkeästi määritelty miksiäkään tietyksi aineeksi tai yhdisteeksi vaan termiä tulisi käyttää lähinnä tietynlaiset absorbointiominaisuudet omaavasta hiilipitoisesta materiaalista. Noki (engl. soot) puolestaan on kiinteä, myös paljon hiiltä sisältävä materiaali, joka myös absorboi hyvin valoa, joten näillä kahdella termeillä on selkeä yhteys, mutta kiistanalaiseksi tässä yhteydessä on jäänyt se, että onko noki osa mustaa hiiltä vai päinvastoin. Lisäksi tässä yhteydessä on syytä mainita kolmantena terminä alkuainehiili (Elemental Carbon eli EC), jota käytetään toisinaan em. termien sijaan tai niiden yläterminä, vaikka sille on määritetty omat lämpöoptiset mittaustietonsa. (Buseck et al. 2012; Salako et al. 2012) BC on kuitenkin ilmaston lämpenemisen kannalta merkittävä hiukkanen, sillä se absorboi energiaa kaikilla näkyvän valon aallonpituuksilla. Sekoittumalla lumeen ja jäähän se lisäksi edesauttaa niiden sulamista ja samalla vähentää säteilyä heijastavien pintojen

määrää. Arvioiden mukaan vastaavalla massalla BC:tä onkin 100–2000 kertaa voimakkaampi vaikutus lämpenemiseen kuin CO₂:lla. (UNEP & WMO 2011)

PM-päästöjen terveysvaikutuksia on tutkittu laajasti ja ne ovat varsin moninaisia. Keskeisimmät vaikutukset kuitenkin ovat:

- ennenaikainen kuolleisuus,
- hengityksen vaikeutuminen,
- sydän- ja verisuonisairaudet,
- muutokset autonomisen hermoston toiminnassa,
- muutokset sydämen ja verisuoniston riskitekijöissä (verenpaine, C-reaktiivinen proteiini, endoteelin toimintahäiriö)
- muutokset systeemisissä verimarkkereissa,
- muutokset keuhkojen toiminnassa, kudoksissa sekä rakenteessa,
- lisääntyneet oireet ja puolustusmekanismien muuttuminen hengityselimissä.

Ilman PM-päästöpitaisuuudet ovat lähes suoraan verrannollisia useisiin terveysindikaattoreihin, kun pitaisuuudet ovat 0–200 µg/m³ eli ts. terveysongelmien määrä kasvaa samassa suhteessa, kun PM-pitoisuus kasvaa n. 200 µg/m³ asti, jonka jälkeen sairastavuuden ja kuolleisuuden kasvu alkaa hidastua verrattuna PM-pitoisuuden kasvuun. (Morawska et al. 2004)

Hiukkasten koolla ei ole havaittu olevan juurikaan vaikutusta hiukkasten myrkyllisyyteen vaan se riippuu lähinnä niiden kemiallisesta koostumuksesta. On tosin huomattava, että tällöin verrataan vastaavia hiukkasten lukumääriä keskenään, mikä poikkeaa tavanomaisesta ilman koostumuksesta, jossa hiukkasten lukumäärä kasvaa, kun hiukkasten koko pienenee. Tällöin pienemmillä hiukkasilla on reaktiivista pinta-alaa huomattavasti enemmän, mikä myös johtaa haitallisten reaktioiden suurempaan määrään. Kun verrataan samoja pitaisuuksia (µg/m³) kemiallisen koostumuksen pysyessä vakiona, niin tällöin em. syistä hiukkasten haitallisuus kasvaa koon pienentyessä. Hiukkasten koko vaikuttaa merkittävästi myös niiden kulkeutumiseen, mistä johtuen esim. PM_{2.5}-päästöistä kulkeutuu n. 40–70 % sisäilmaan, jolloin niille myös altistutaan enemmän. Lisäksi eläinkokeissa on havaittu UFP:n kulkeutuvan veren mukana veri-aivoesteen läpi aiheuttaen vahinkoa myös aivo- ja hermosoluissa. (WHO 2006)

Vaikka liikenne on merkittävä PM-päästöjen tuottaja etenkin kaupunkimaisessa ympäristössä, niin päästöjen kohdentaminen ja todentaminen mittauksilla liikenteen aiheuttamaksi on varsin haasteellista. Pakokaasupäästöjen osalta pystytään tekemään kohtuullisia arvioita autokannan ja päästöjen kemiallisen koostumuksen avulla, mutta muiden liikenteen PM-päästöjen kohdalla tutkimustieto on vaillinaista. Liikenteen osuus PM-päästöistä voikin vaihdella alueesta riippuen 5–80 % välillä, joten erilaisiin arvioihin on

syötä suhtautua varauksella ja useimmiten joudutaan tyytymään lähinnä kokonaispitoisuuksien tarkasteluun. (Pant & Harrison 2013) Vuonna 2000 WHO:n (2006, s. 221–222) arvioiden mukaan 52 % maailman väestöstä altistui yli $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} -vuosikeskipitoisuudelle, mikä ylittää esimerkiksi EU:n raja-arvon ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Euroopan parlamentti & Euroopan unionin neuvosto 2008). PM-pitoisuuksia mitataan etenkin länsimaissa, sillä niiden terveyshaitat on tiedostettu hyvin, ja niistä nähdäänkin, että suurimmat pienhiukkaspitoisuudet ja -altistumiset sijoittuvat juuri tiealueiden läheisyyteen (Pirjola et al. 2006). Lisäksi hiukkaspitoisuuksiin ilmassa vaikuttaa mm. liikennemäärä, vuodenaika, ja esim. talvella alle $0,63 \mu\text{m}$ partikkeleiden pitoisuus samoilla liikennemäärillä on 2–3 kertaa korkeampi kesään verrattuna. Tätä suuremmilla hiukkasilla vuodenajalla ei tosin ole vaikutusta. (Virtanen et al. 2006)

3.1.9 Otsoni (O_3)

O_3 on NTP-olosuhteissa sinertävä ja pistävän hajuinen kaasu, jota liikenne ei tuota suorina päästöinä vaan sitä muodostuu pakokaasupäästöistä alailmakehässä fotokemiallisissa reaktioissa, joissa osana on VOC, CO ja NO_x -molekyylejä. Yläilmakehässä (stratosfäärissä) UV-säteilyn vaikutuksesta muodostuva O_3 suojaa eliöitä liialliselta UVB-säteilyltä, mutta alailmakehässä (troposfäärissä) se on haitallista ihmisten terveydelle sekä kasveille mm. pienentäen viljelysatoja. Alailmakehän yläosien O_3 on myös voimakas kasvihuonekaasu, sillä se absorboi IR-säteilyä ja ihmisen tuottamana sen globaali säteilypakote on arvion mukaan 17–33 % CO_2 :n säteilypakotteesta. Lisäksi alailmakehän O_3 on savusumun keskeinen komponentti. (UNEP & WMO 2011)

Liikenteen näkökulmasta alailmakehän O_3 :n kohdentaminen tiettyyn päästölähteeseen on haasteellista, sillä käyttökelpoisimmat indikaattorit O_3 :n muodostumiselle sekä kulkeutumiselle ovat lähinnä VOC- sekä NO_x -päästöt, jotka voivat kulkeutua pitkiäkin matkoja ennen O_3 :n muodostumista. Liikenne on kuitenkin näiden yhdisteiden merkittävä tuottaja, joten yhteys O_3 :n muodostumiseen on käytännössä kiistaton. Viidellä eri mallinustavalla tehtyjen arvioiden mukaan NO_x -päästöjen muutos vaikuttaisi globaalisti alailmakehän O_3 -molekyylien määrään tieliikenteen osalta 33 %, laivoilla 54 % ja lentoliikenteessä 163 %, kun verrataan sitä niiden tuottamiin NO_x -päästömääriin (Hoor et al. 2009). O_3 :a muodostuu etenkin kesäisissä olosuhteissa, sillä lämpö ja auringonvalo edesauttavat kemiallisten reaktioiden tapahtumista. (Krzyzanowski et al. 2005) Lisäksi O_3 :n muodostumiseen vaikuttaa, missä suhteessa VOC- ja NO_x -pitoisuuksia sekä, mitä VOC-yhdisteitä ilmassa on. Eri VOC-yhdisteiden reaktiivisuus O_3 :n muodostumiseksi vaihtelee suurestikin, joten VOC-pitoisuuden käyttäminen O_3 :n arviointiin vaatii tarkempia tietoja kemiallisesta koostumuksesta. (Sethi 2013, s. 128-133)

O₃:n terveysvaikutukset kohdentuvat tutkimusten mukaan lähinnä hengityselimiin. Lyhyt-aikainen altistus aiheuttaa tulehdusreaktioita hengitysteissä ja pidempi altistus rakenteellisia muutoksia keuhkoissa. Nämä muutokset puolestaan heikentävät keuhkojen kehittymistä etenkin lapsilla sekä lisäävät astman ja keuhkosityövän esiintyvyyttä, jotka puolestaan lisäävät sairastavuutta sekä ennenaikaisia kuolemia. Länsimaissa esiintyvillä pitoisuuksilla O₃:n yhteyttä astmaan ei voida aivan luotettavasti todentaa osittain siitä syystä, että yksilöiden välillä on merkittäviä eroja siinä, miten heidän elimistönsä reagoivat O₃:een. (WHO 2006; WHO 2003)

3.2 Aktiivinen liikkuminen ja sen vaikutukset

Aktiiviseksi liikkumiseksi luetaan kulkumuodoista käytännössä kävely ja pyöräily, joihin puolestaan mukaan luetaan erilaiset, harvemmin käytetyt liikkumistavat kuten esimerkiksi rullaluistelu, potkukelkat, sähköavusteiset polkupyörät. Tärkeintä kuitenkin on, että tällöin matka etenee lihasvoimaa hyödyntäen eikä yksistään moottoroitua kulkuneuvoa ajaen tai sen kyydissä matkustaen. Tällöin ihminen käyttää ravinnosta saamaansa energiaa liikkeen tuottamiseksi. Tämä liikunta on tunnetusti ihmisen fyysistä ja henkistä hyvinvointia kohentavaa, mikä myös vähentää tai ehkäisee monia terveysongelmia kuten:

- kuolleisuutta,
- sydän- ja verisuonisairauksia,
- tyypin 2 diabetesta,
- ylipainoa,
- syöpiä,
- kaatumisia,
- mielenterveysongelmia.

Tutkimustieto on näiltä osin yhtenäistä, mutta positiivisten terveysvaikutusten suuruudessa on eroavaisuuksia tutkimusten välillä käytettyjen tutkimusmenetelmien vuoksi. (Mueller et al. 2015) Aktiivinen liikkuminen on havaittu kasvattavan myös liikunnan kokonaismäärää, mikä vaikuttaa terveyshuollon kustannuksiin varsinkin väestötasolla tarkasteltuna (Sahlqvist et al. 2013).

Aktiivisella liikkumisella on myös negatiivisia vaikutuksia niin liikkujaan itseensä kuin väestön tasolla tarkasteltuna. Lukuisten tutkimusten mukaan aktiivisen liikkujan onnettomuusriski suhteutettuna kuljetun matkan pituuteen on suurempi kuin muilla kulkutavoilla liikkuvilla. Osa tutkimuksista on tosin laskenut onnettomuuksien kokonaismäärän laskevan osittain nk. safety in numbers -ilmiön vuoksi. Tässä yhteydessä on huomioitava, että tilastoissa on merkittäviä eroja tarkasteltujen liikenneympäristöjen ja etenkin muiden kuin

kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien osalta, mikä osaltaan heikentää vertailuasetelmia. Aktiiviset liikkujat altistuvat usein myös enemmän liikennemelulle, mikä kasvattaa sydän- ja verisuonisairauksien riskiä, mutta melun kokonaisvaikutuksien arviointia ei ole juurikaan tehty ehkä osittain syystä, että se on varsin monimutkainen kokonaisuus tarkasteltavaksi ja aihealueeseen liittyy vielä monia epävarmuuksia. (Münzel et al. 2014; Mueller et al. 2015) Aktiivinen liikkuja altistuu myös enemmän ilman epäpuhtauksille etenkin kaupunkiympäristössä, koska esimerkiksi pyöräilijöiden keskimäärin kaksinkertaistunut hengitystiheys lisää sisään hengitettävien epäpuhtauksien määrää, vaikka hengitettävän ilman päästöpitoisuudet voivat olla jopa pienempiä kuin bussissa tai autossa matkustavilla (Zuurbier et al. 2010).

Merkittävässä osassa aiheesta tehdyistä tutkimuksissa on kuitenkin laskettu terveyshyötyjen ylittävän haitat tai riskit ja vieläpä pääasiassa selkeällä erolla (28 tutkimuksen hyötykustannus- eli HK-suhteen mediaani 9, vaihteluväli 2–360). Kun tarkastellaan kulkutapaosuuksien muutoksia, esimerkiksi ilman epäpuhtauksille altistumisen osalta vaikutus väestötasolla voi olla jopa positiivinen vähentyneiden päästöjen myötä, vaikka vaikutus itse liikkujaan olisikin tältä osin negatiivinen. (Mueller et al. 2015) HK-suhteen osalta täytyy tosin huomioda, että ne yleensä sisältävät vain kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien kustannukset, mikä aliarvioi kokonaiskustannuksia, sillä muista onnettomuuksista syntyy myös merkittäviä kansantaloudellisia kustannuksia.

Muita kuin kuolemaan johtaneita onnettomuuksia on tutkinut pyöräilijöiden osalta esim. Aertsens et al. (2010) Belgiassa, jossa vuoden 2006 muiden onnettomuuksien kokonaiskustannuksiksi arvioitiin 57–183 miljoonaa euroa. Samana vuonna Belgiassa kuoli Statbelin (2019) mukaan 94 pyöräilijää, ja kun yhden liikennekuoleman hinta arvotetaan 1 999 166 euroon (Kasnatscheew et al. 2016, s. 43, vuoden 2014 arvo) oli pyöräilijöiden kuolemien kokonaiskustannus 187 921 604 € vuodessa. Näin ollen muut onnettomuudet olisivat olleet 23–49 % pyöräilyonnettomuuksien kokonaiskustannuksista, mikä tarkoittaa 30–97 % lisäystä tavanomaisesti tarkasteltuihin onnettomuuskustannuksiin.

4. MITTAUS, LASKENTA JA VAIKUTUSTEN ARVOTTAMINEN

Jotta liikenteen päästöjä ja aktiivista liikkumista voidaan arvioida rahallisesti, täytyy niiden vaikutuksia ensin mitata. Koska kyseessä on pitkäaikaisista vaikutuksista ja lukuisia epävarmuuksia sisältävistä mittauksista, on lopulliset arviot yleensä tehtävä väestötasolla ikäryhmittäin. Tähän tarvitaankin erilaisia laskentamenetelmiä, joilla vaikutuksia saadaan laajennettua eri väestöryhmistä ja ajanjaksoista tai vastaavasti kohdentaa vaikutuksia niihin. Lopuksi voidaan tehdä myös yleistävät yksikkökustannuslaskelmat esim. päästögrammaa tai -tonnia, kuljettua henkilö- tai tonnikilometriä kohden. Esimerkiksi Suomessa ilmansaastetilanne on erittäin hyvä pl. keväiset pölykaudet, mikä on päästöjen haittavaikutusten kannalta haasteellinen tilanne tarkasteltavaksi.

Rahallinen arvottaminen on yksi keino esittää terveysvaikutusten suuruusluokkaa, jolloin näitä arvioita voidaan käyttää hyväksi esim. vaikutusarvioinneissa ja niihin liittyvässä päätöksenteossa. Arvottamista voidaan tarkastella Hensher & Buttonin (2003) mukaan kahdesta eri näkökulmasta – hyvinvoinnin maksimointi sekä riskit. Hyvinvoinnin näkökulmassa kaikki ympäristöresurssien muutokset (ml. ihmisten terveys) voidaan arvottaa rahallisesti. Nämä muutokset puolestaan lasketaan joko palautukseen kuluviin tai tulevaisuudessa oletettavasti menetettyjen resurssien, maksuhalukkuuden tai ennaltaehkäisyn kustannuksien pohjalta. Riskien näkökulmasta ympäristön muutoksiin liittyy syysuhteiden ja vaikutusten epävarmuuksia, ja näitä sekä niihin liittyviä riskejä hallitaan tekemällä tai tarjoamalla vaihtoehtoja (ts. hajauttamalla riskejä), vakuuttamalla sekä ennaltaehkäisemällä. Rahallinen arvo määräytyy tällöin riskienhallinnan kulujen perusteella.

Nämä näkökulmat eivät ole toisiaan kokonaan poissulkevia vaan ne voivat myös täydentää toisiaan. Esimerkiksi vakuuttaminen perustuu arvioon mahdollisten vahinkojen laajuudesta, jota voidaan arvioida vaikkapa resurssien menetyksen pohjalta. Vastaavasti ympäristöresurssien muutoksia voidaan arvioida riskianalyysin avulla. Lisäksi molemmat näkökulmat sisältävät ennaltaehkäisemisen, vaikka sen kustannuksia arvioitaisiinkin hie-
man eri tavoin.

Yleinen tapa laskea terveysvaikutusten rahallinen arvio on laskea ihmiselämälle tai elinvuodelle hinta esimerkiksi em. tarkastelunäkökulmiin perustuen. Tällöin käytetään termejä kuten elämän tilastollinen arvo (Value of Statistical Life eli VSL) sekä elinvuoden tilastollinen arvo (Value Of Life Year eli VOLY). Näistä on kerrottu laajemmin luvussa 4.2.2.

Niin terveysvaikutuksien kuin niiden rahallisen arvottamisen ehkäpä suurin haaste on kuitenkin tulevaisuuden hyötyjen ja haittojen nykyarvon laskeminen eli diskonttaus. Pelkästään rahallisesti laskettuna hyötyjä ja kustannuksia voidaan arvottaa yleisellä korkotasolla, mutta tutkijoiden kesken on näkemyseroja siitä, pitäisikö tyypillisesti VOLY- tai QALY-arvioilla (laatupainotettu elinvuosi, engl. Quality-Adjusted Life Year) laskettujen hyötyjen arvottamisessa käyttää alemmää korkotasoa vai ei, mikä vaikuttaa välillisesti myös rahalliseen arvioon. Hankearvioinnissa hyötyjen erisuuruiset korkokannat voivat aiheuttaa tilanteen, jossa hankkeen lykkääminen yhä myöhemmäksi parantaa sen kannattavuutta. Ristiriidassa on käytännössä kyse siitä, kuinka arvokkaiksi tulevaisuuden elinvuodet lasketaan verrattuna ihmisen omaan kokemukseen ja liittyvätkö ne yleiseen talouskasvuun ja elintason kohentumiseen vai eivät. Lisäksi ongelmaksi muodostuu ihmisten mieltymyksiin liittyvien mittausmenetelmien ohella myös yksilölliset ja ajoitukselliset (esim. ikä, aikakausi) eroavaisuudet. (OECD 2006)

Diskonttaukseen liittyy em. ohella kiistanalaisia ongelmia valittaviin laskentamenetelmiin. Tavallisesti käytetään eksponentiaalista eli nk. korkoa korolle mallia, jolloin käytetään kiinteää korkokantaa koko laskenta-ajalle. Tällöin valittu korkokanta vaikuttaa merkittävästi nykyarvon suuruuteen. Korkokanta onkin hyvin tyypillinen varioitava muuttuja hanke- ja vaikutusarvioinneissa, koska sitä ei käytännössä voida määrittää yksiselitteisesti vain johonkin arvoon. Eri maissa kuitenkin ohjeistetaan käyttämään tai varioimaan korkokantaa pääasiassa 3–5 % välillä. (OECD 2006) Puhtaasti resurssien (kuten rahan) kulutuksen arviointia varten keskimääräisen markkinakoron suuruinen kiinteä diskonttauskorko Robinson & Hammittin (2011) mukaan on kuitenkin varsin kelvollinen.

Erilaiset muuttuvakorkoiset mallit ovat myös hiljalleen kasvattaneet suosiota. Tähän syynä ovat lähinnä psykologian ja käyttäytymistaloustieteellisten tutkimuksien havainnot yksilöiden ajallisista mieltymyksistä sekä kiinteäkorkoisen mallin pieni painoarvo tapahtumille kauempana tulevaisuudessa. Näitä korjauksia varten voidaan hyödyntää mm. erilaisia hyperbolisia malleja tai ajan myötä laskevia diskonttauskorkoja. (OECD 2006) Näissä malleissa lyhyen aikavälin korko on tavallisesti selkeästi korkeampi ja se laskee, kun tarkasteluajanjakso pitenee. Tätä perustellaan ihmisen nopean tyydytyksen hakemisen ja vaillinaiseen itsehillinnän piirteillä, jolloin myöhemmät ja epävarmemmat tapahtumat eivät saa niin suurta arvoa. Tämän tyyppisen diskonttauskoron käyttäminen onkin perustellumpaa etenkin sosiaalisia näkökulmia ja asioita (kuten terveys ja hyvinvointi) arvotettaessa. (Robinson & Hammitt 2011)

4.1 Liikennepäästöt

Liikenteen päästöjä voidaan arvioida paikallisten mittausten pohjalta tai tehdä erilaisia arvioita liikennemäärien ja sääolosuhteiden perusteella. Mittauksista voidaan tehdä arvio suhteuttamalla mitatut ilman päästöpitoisuudet ja ohi kulkevan liikenteen määrä tai teke-mällä nk. kaksoiskenttäkoe, jossa vertailukohtana käytetään liikenteestä vapaata aluetta taustapitoisuuksien mittaamista varten. Mittaustuloksista voidaan myös moniulotteisia ti-lastollisia malleja kuten esim. pääkomponenttianalyysia (Principal Component Analysis eli PCA) tai pistetodennäköisyysfunktioita (Probability Mass Function eli PMF) hyödyntä-mällä saada arvio liikenteen tuottamista päästöistä. (Pant & Harrison 2013)

Lähinnä liikennemäärien ja sääolosuhteiden pohjalta tehtävissä arvioita varten tarvitaan tietoa autokannasta ja sen keskimääräisistä päästöistä. Autokannan ja niistä suoraan mitattujen päästöjen perusteella saadaankin tarkempaa tietoa pakokaasupäästöjen osalta, vaikkakin näiden tietojen johtaminen käytäntöön paikallisina ilman pitoisuuksina on haastava mallinnettava (menetelminä esim. Chemical Mass Balance eli CMB-mallin-nus) lukuisten muuttuvien tekijöiden vuoksi. (Pant & Harrison 2013)

Arvioitaessa yksittäisten liikkujien tai tavaraerän keskimääräistä päästömäärää liikenne-suoritetta kohden tarvitaan tietoa vain lähinnä kulkuneuvojen päästöistä sekä kuormitus-asteesta (henkilöä, tonnia tai prosenttia per kulkuneuvo). Yleensä liikennemuotoiset osi-tukset tehdäänkin aluekohtaisesti saatavilla olevan tiedon mukaan ja tällöin verrataan kokonaissuoritteita sekä keskimääräistä kuormitusastetta, joista saadaan laskettua kul-kuneuvojen ja niiden liikenteessä olevan kannan perusteella keskimääräiset päästömää-rät per henkilö- tai tonnikilometri.

Liikennepäästöjen terveydellisiä haittavaikutuksia kuitenkin ositetaan lähinnä liikkumis-ympäristön mukaan, sillä vaikutukset täytyy laskea huomattavasti laajempina kokonai-suuksina. Vaikka päästöjen määrät tiedettäisiin, tarvitaan niiden haittojen arvottamiseen myös arvio päästöille altistumisesta, joka vaihtelee lähinnä alueen asukasmäärien mu-kaan. Altistuminen samalle pitoisuudelle antaa erilaisen vasteen erilaisissa väestöryh-missä, jolloin väestön osalta olisi hyvä tietää tarkemmin myös alueen ikäjakauma. Kun tiedetään mihin ympäristöön päästöt päätyvät, voidaan kokonaisvaikutukset osittaa eri tavoin esim. per päästögramma päästöryhmittäin tai -yhdisteittäin. Kun tiedetään kulku-neuvokohtainen päästömäärä henkilö- tai tonnikilometriä kohden, voidaan niiden hai-toille puolestaan laskea karkea arvio ositettuja haitta-arvoja hyödyntämällä.

4.1.1 Pakokaasupäästöt

Pakokaasupäästöjä voidaan mitata paikallisesti todellisessa ympäristössä tai tehdä nk. ajosyklimittauksia suoraan ajoneuvoista laboratoriossa (nyk. Worldwide harmonised

Light-duty Vehicles Test Procedure eli WLTP) tai liikenteessä tapahtuvan testiajon aikana (Real Driving Emissions eli RDE). Euroopassa autojen päästömääriä on CO, HC, NOx ja PM-päästöjen osalta rajoitettu lainsäädännöllä terveydellisten haittavaikutuksien vuoksi, mutta pelkästään näiden päästöjen tarkastelu terveyshaittojen arvioinnissa ei pidetä riittävänä. Pakokaasut sisältävät satoja yksittäisiä yhdisteitä, joiden haittavaikutukset ovat hyvin eriarvoisia. Esim. USA:n ympäristöviranomaiset laskevat tärkeimmiksi päästöyhdisteiksi em. lisäksi bentseenin, 1,3-butadieenin, formaldehydin ja asetaldehydinin, jotka kyllä sisältyvät HC-päästöihin ja myös osin PM-päästöihin, mutta näiden yhdisteiden pienikin pitkäaikainen altistus kohottaa syöpäriskiä, joten niihin pitäisi kiinnittää enemmän huomioita niin mittauksissa, lainsäädännössä kuin vaikutusarvioinneissa. (Lappi & Rihko 1996)

Liikenteen suoraan tuottamia CO₂- tai muita kasvihuonekaasupäästöjä ei varsinaisesti ole rajoitettu, mutta esimerkiksi Suomessa CO₂-päästöt vaikuttavat uuden auton oston yhteydessä ja vuosittain maksettavaan veron suuruuteen, mikä ohjaa kuluttajien valintoja. Suomessa polttoaineiden kauppaa tilastoidaan hyvin, joten liikenteen suorat CO₂-kokonaispäästöt voidaan laskea myynnin perusteella varsin tarkasti, jolloin ne voidaan jakaa yksinkertaisesti tasan liikennesuoritteiden ja kuormituksen mukaan (g/km, g/hkm, g/tkm). (VTT 2019a)

Käyttövoimien kohdalla tilastoinnin tarkkuus voi tosin muuttua, kun henkilöliikenne on alkanut hiljalleen sähköistyä ja kulkuneuvoihin ladataan osittain fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä aiempaa hajautetummin. Autoliikenteen käyttämän sähkön osuus on ainakin toistaiseksi vielä varsin vähäinen (Suomessa sähköautoja tällä hetkellä n. 1 % koko autokannasta), joten näiden CO₂-päästöjen osuus on myös vielä hyvin marginaalinen (VTT 2019a). Suomen liikenteessä merkittävin sähkön käyttäjä onkin raideliikenne, jonka sähkön kulutuksen tilastoi VR (VTT 2019c). Autoliikenteen sähkön käytön kokonaisarvioinnissa joudutaankin tällöin mahdollisesti tukeutumaan enemmän liikennesuoritteiden ja sähköautojen keskimääräisiin kulutuslukemiin, jotka ainakin polttomoottoriautojen kohdalla ovat todellisuudessa olleet esimerkiksi valmistajien ilmoittamia lukemia suurempia (VTT 2019a). Sähkön osalta on muistettava, että mikäli tarkastelun kohteena on vain liikkumisen aikaiset päästöt, niin sähkön käytöstä ei muodostu suoria päästöjä lainkaan eikä niitä tällöin huomioida laskuissakaan.

4.1.2 Muut päästöt

Liikenne tuottaa suorina päästöinä lähinnä karkeita hiukkasia (PM₁₀ ja tätäkin suurempia) tien, renkaiden ja niissä olevien nastojen, jarrutusosien mekaanisen kulumisen takia. Karkeita hiukkasia syntyy liikenteestä myös epäsuorasti väylien kunnossapidon myötä,

kun liukkauden torjumiseksi niitä aurataan, hiekoitetaan ja suolataan. Hiekoituksessa käytetty materiaali myös siivotaan keväisin pois, mikä heikentää ilmanlaatua siivouksen aikaan etenkin, jos siivousta ei tehdä sateella tai muuten kosteissa olosuhteissa. Näiden hiukkasten mittausta tapahtuu samoin menetelmin kuin suoraan ilmasta mitattavien pakokaasuhiukkasten osalta, mitä on käsitelty pakokaasupäästöjen mittausten yhteydessä. Karvosenoja et al. (2011) arvioivat kulumisesta johtuvien päästöjen olevan n. 10 % pakokaasupäästöjen PM_{2.5}-päästöistä grammoissa mitattuna. Kemialliselta koostumukseltaan tiepöly sisältää yleisimmin rautaa (Fe), kalsiumia (Ca), piitä (Si) sekä alumiinia (Al). Jarrujen kulumisesta syntyy puolestaan kupari- (Cu), barium- (Ba) sekä antimonihiuksia (Sb). Renkaista puolestaan irtoaa orgaanista- (Organic Carbon eli OC) ja alkuainehiiltä (EC). Lähinnä em. alkuaineet toimivat indikaattoreina muista liikenteen PM-päästöistä, mutta koska nämä esiintyvät erilaisissa yhdisteissä ei niitä voida kaikissa tapauksissa yhdistää juuri näihin lähteisiin. (Viana et al. 2008)

Liikenne on merkittävä alailmakehän O₃:n epäsuora tuottaja, vaikkakin kohdistaminen liikenteen tuottamaksi voi olla haasteellista sen kulkeutumisen ja muiden päästölähteiden vuoksi, joten O₃:n osalta mitataan lähinnä kokonaispitoisuuksia. Vertailuindikaattoreina käytetään erityisesti NO- ja NO₂-pitoisuuksia, sillä O₃ toimii NO:n hapettajana, jolloin NO- ja NO₂-pitoisuuksia vertailemalla voidaan arvioida myös O₃-pitoisuuksia. Esim. kun O₃:a on ilmassa runsaasti, NO:n hapettumista tapahtuu enemmän, mikä tarkoittaa korkeampaa NO₂-pitoisuutta verrattuna tilanteeseen, jossa NO:n ja NO₂:n yhteenlaskettu pitoisuus (eli NO_x) olisi sama ja O₃:a on ilmassa vähemmän. Tästä syystä NO_x-päästöjen vähentäminen ei aina johda NO₂-pitoisuuden laskuun. (Keuken et al. 2009) Suomessa kuten muillakin viileämmillä seuduilla ilmasto ei suosi O₃:n muodostumista, joten NO:n hapettumisen takia O₃-pitoisuudet ovat alhaisimmat alueilla, joissa NO-päästöjä muodostuu eniten eli käytännössä alueilla, missä liikkuu paljon polttomoottoriajoneuvoja (Anttila & Tuovinen 2010). Liikenne tuottaa kuitenkin merkittävän osan NO_x-päästöistä, joten näiden päästöjen mittaamisella voidaan jossain määrin indikoida O₃:n muodostumista ja hapettumista suorien O₃-päästömittausten ohella.

Liikenne myös tarvitsee kulkuneuvonsa sekä energiaa niiden liikuttamiseen. Kulkuneuvojen tuotanto, kuljetus, huolto ja kierrätys tuottavat osan elinkaaren aikaisista päästöistä, mikä vaikuttaa lähinnä kasvihuonekaasujen osalta, sillä ne syntyvät suurelta osin muualla kuin kulkuneuvon lopullisella käyttöalueella. Kulkuneuvojen käyttövoimana käytettävä energiakin on tuotettava ja siirrettävä sinne, missä sitä tarvitaan. Polttoaineita tuotetaan pääasiassa fossiilisista raaka-aineista kuten raakaöljystä ja vähemmissä määrin maakaasusta, joista jalostetaan liikenteen käyttöön sopivat laadut. Pienempiä määriä

biopolttoaineita syntyy myös paikallisesti esim. maatalouden jätteistä ja hieman laajemmin yhdyskuntien biojätteistä. Uusiutuvilla biopolttoaineilla saadaan korvattua osa fossiilisten käytöstä, jolloin jo sitoutuneita hiilivarastoja ei tarvitse pienentää niin nopeasti, mikä hillitsee hieman CO₂-pitoisuuden kasvua ilmakehässä. Liikenteen käyttämiä polttoaineita tarvitaan merkittäviä määriä ympäri maailman, mikä tarkoittaa myös laajoja jakeluverkostoja. Jakelua tankkauspisteille ei juurikaan tehdä putkistoissa, joten tarkoitukseen käytetään säiliökuorma-autoja, jotka puolestaan tuottavat myös omat päästönsä. (Kalenoja & Kallberg 2006)

Sähköisen liikenteen kohdalla käyttövoiman päästöt puolestaan syntyvät lähes kokonaan energian tuotannossa. Fossiilisten polttoaineiden osuus Euroopan sähkön tuotannossa on JRC:n (2014, appendix 2) arvion mukaan n. 30 % kokonaisenergiamäärästä. Sähkön siirrossa aiheutuu jonkin verran häviöitä (Suomessa n. 3–4 %: The World Bank & OECD/IEA 2018), minkä verran joudutaan myös tuottamaan ylimääräistä sähköä. Käytettäessä akkukäyttöisiä kulkuneuvoja, syntyy myös latausvaiheessa häviöitä 10–20 % riippuen mm. käytetystä jännitteestä, virrasta, akun lataustasosta, komponenteista (Apostolaki-Iosifidou et al. 2017). Sähköautot tosin hyödyntävät energian merkittävästi polttomootoriautoja tehokkaammin, sillä yhden arvion mukaan tavanomainen polttomootoriauto tarvitsee samalla matkalla n. 3,5-kertaisen määrän energiaa sähköautoon verrattuna (Granovskii et al. 2006). Näiden päästöjen kohdentaminen liikenteeseen ei sinänsä ole ongelmallista, mutta vertailukelpoisuuden takaamiseksi on kaikkien käyttövoimien osalta, olisi tällöin huomioitava koko ketju raaka-ainelähteeltä vetäville pyörille (nk. well-to-wheel eli WTW-päästöt), mikä lisää laskentaan lukuisia muuttujia ja epävarmuustekijöitä. Tästä syystä onkin usein yksinkertaisinta tarkastella vain paikallisia päästöjä sekä niiden aiheuttamia kustannuksia, ja siirtää energian sekä kulkuneuvojen tuotannon osuus esim. teollisuussektorin alaisuuteen selkeästä syy-yhteydestä huolimatta. Lisäksi paikalliset päästöt muodostuvat lähempänä asutusta ja ulkona liikkuvia, jolloin niille myös altistutaan kauempana tuotettuja päästöjä enemmän, mikä vaikuttaa mm. terveyskustannuksien muodostumiseen. Kasvihuonekaasujen kannalta päästölähteen sijainnilla ei ole juurikaan vaikutusta, joten tältä osin koko ketjun tarkastelu on tarkoituksenmukaisempaa.

4.1.3 Social Costs of Carbon (SCC)

Koska CO₂:lla ei ole suoria terveydellisiä vaikutuksia, täytyy taloudellinen arviointi tehdä ilmastonmuutoksen vaikutuksien kautta. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa erilaisia vaikutuksia mm. maatalouteen, ihmisten terveyteen ja omaisuuteen ja energian kulutukseen. Näiden muutoksien taloudellisia vaikutuksia arvioidaan erilaisten kustannusmal-

lien kautta, jotta kasvihuonekaasupäästöille voitaisiin määrittää rahallinen arvo esim. erilaisia vaikutusarviointeja varten. Tällä hetkellä aihetta tutkitaan pääasiassa kolmesta näkökulmasta:

- ilmastomuutosta edistävät taustatekijät kuten energian käyttö, maatalous ja metsien hakkuu,
- ilmastomuutoksen vaikutukset luonnollisiin kiertokulkuihin sekä talouteen toimialoittain ja tasoittain,
- ilmastomuutoksen lieventäminen ja siihen sopeutuminen.

Näiden tarkastelujen pohjalta ja eri menetelmiä hyödyntäen tehdään rahallinen hinta-arvio CO₂-päästötonnia kohden. (Wang et al. 2019) Usein laskennassa käytetään myös CO₂-ekvivalenttimääriä (lyh. CO₂-ekv tai CO₂e), jolloin yhteen lasketaan myös muiden kasvihuonekaasujen eli N₂O:n ja CH₄:n vaikutukset niiden globaalin lämmityspotentiaalin mukaisesti kerrottuna vastaamaan CO₂:n ilmastovaikutusta. N₂O:lle kerroin on 298 ja CH₄:lle 25. (VTT 2019b)

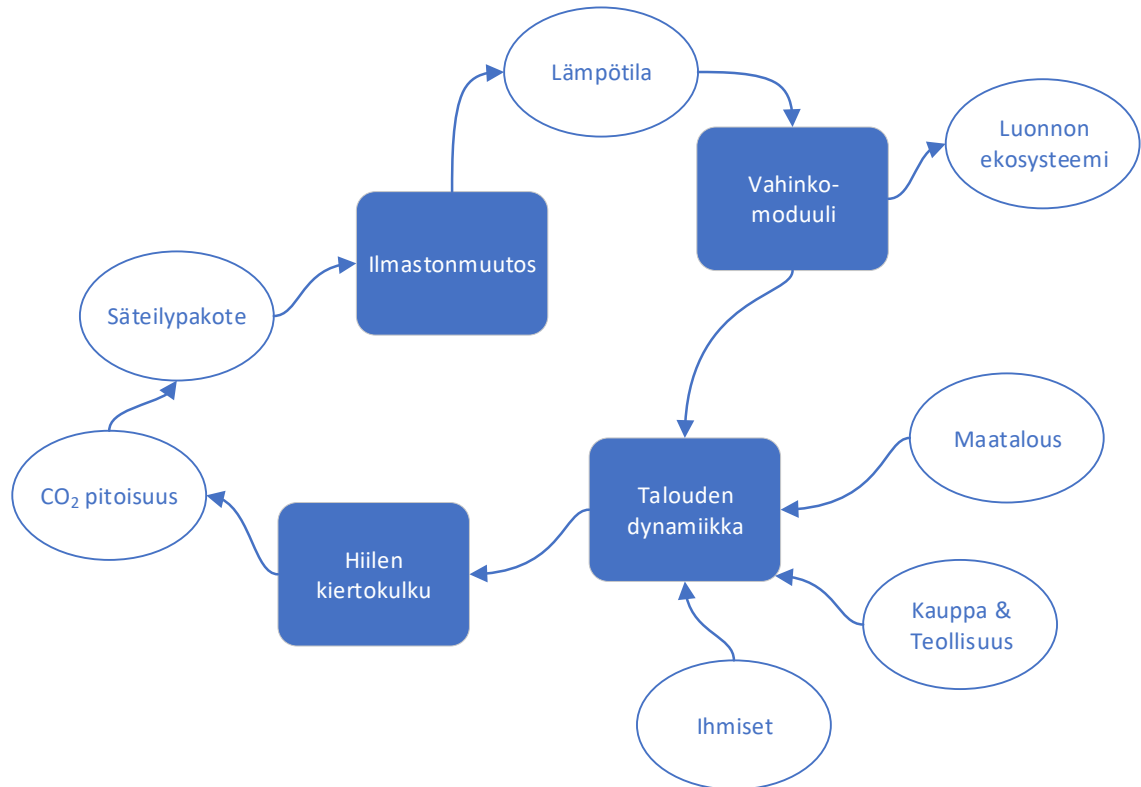
Käytetyt laskentamenetelmät pohjautuvat pääasiassa kahteen tapaan eli hyötykustannussuhteen arvioitiin sekä rajakustannusten laskemiseen. Hyötykustannussuhdetta laskeissa verrataan keskenään kustannusten ja niihin liittyvien seuraamuksien rahallista arvoa. Rajakustannusta laskettaessa arvioidaan kokonaiskustannusten muutosta tehtäessä tietyn suuruinen lisäys tarkasteltua asiaa (SCC:ssä tavallisesti CO₂, muut kasvihuonekaasut tai molemmat) systeemiin. Näitä sovelletaan pääasiassa erilaisissa integroiduissa arviointimalleissa (Integrated Assessment Model eli IAM), jotka puolestaan mallintavat ilmastomuutoksen etenemistä ja sen vaihtoehtoisia kehitysmispolkuja. Mallit huomioivat lähinnä vain rahallisesti arvotettavia osa-alueita, jolloin talousmarkkinoihin liittymättömät vahingot jäävätkin yleensä tarkastelun ulkopuolelle. (Wang et al. 2019) Kuvassa 4 on esitetty IAM:n perusrakenne.

IAM:t voidaan jakaa kuuteen eri ryhmään:

- hyvinvoinnin maksimointimallit,
- yleiset tasapainomallit,
- osittaiset tasapainomallit,
- simulointimallit,
- kustannusten minimointimallit ja
- makrotalousmallit,

joista yleisimmin on käytetty kahta ensimmäistä. Suurin osa IAM:eista on laadittu tarkastelemaan koko maapallon muutoksia, mutta jotkin tarkastelevat tiettyä aluetta tai tiettyjä alueita. IAM:t sisältävät myös erilaisia moduuleita riippuen mallinnus- ja tarkastelunäkö-

kulmasta, jolloin ne antavat myös erilaisia tuloksia, mikä täytyy huomioida tuloksia hyödynnettäessä. Käytännössä valitut moduulit rajaavat, mitä kaikkia eri osa-alueita kyseisessä tutkimuksessa on haluttu ottaa huomioon. (Wang et al. 2019)



Kuva 4. Integroidun arviointimallin perusrakenne (suom. Wang et al. 2019, kuva 2).

Koska ilmastomuutoksen vaikutukset ovat hyvin pitkäikäisiä, täytyy eri malleissa huomioida päästöjen ajalliset kertymät ja vähenemät. Näin ollen mm. päästöjen syntymisen ajankohta vaikuttaa niiden hintaan. Malleissa täytyy arvioida myös:

- talouden kehittymisenäkymiä ilman ilmastomuutosta,
- kasvihuonekaasujen vaikutusta koko maapallon ekosysteemeihin,
- miten talous reagoi näihin muutoksiin sekä
- kuinka arvotamme haitat sekä hyödyt nyt ja tulevaisuudessa.

Näidenkin tekijöiden arvioiminen etenkin pitkällä aikavälillä on varsin epävarmaa, jolloin kustannusmalleja täytyy varioida erilaisten skenaarioiden pohjalta. Esimerkiksi haittojen ja hyötyjen arvottamisessa käytetty diskonttaus korko vaikuttaa jo yksinään hyvin merkittävästi lopputulokseen, sillä mallien tarkasteluajanjakso voi olla jopa satoja vuosia. (EPA 2016) Mallien käyttökelpoisuuden arviointi ei ole aivan yksinkertaista käytettyjen moduulien moninaisuudesta ja eroavaisuuksista johtuen, joten tutkimustulosten hyödyntämisen kannalta tieteellisen vertaisarvioinnin painoarvo on merkittävä. Läheskään kaikkia ilmastomuutoksen vaikutusmekanismeja ei myöskään vielä täysin ymmärretä, joten IAM:ien

mahdollisten yksinkertaistuksien ja niistä johtuvien epätarkkuuksien vuoksi IAM:ien uskottavuutta ja käyttökelpoisuutta päätöksentekoon pidetään usein alhaisena. (Wang et al. 2019)

4.1.4 LIPASTO

LIPASTO on Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä, joka koostuu liikenteen yksikköpäästötietokannasta sekä päästöinventaariosta. Yksikköpäästötietokanta sisältää liikennevälineiden ja työkonoiden päästökertoimet eli pakokaasupäästömäärät liikennesuoritetta kohden (g/tkm, g/hkm; maastoajoneuvoilla ja työkoneilla g/kWh, g/l). Päästöinventaarista puolestaan löytyvät liikennemuoto-kohtaisten alamallien perusteella lasketut vuosittaiset kokonaispäästöt sekä energiankulutus. LIPASTO keskittyy käytönaikaisiin päästöihin (tank-to-wheel), eikä eri päästökomponenteista ole ilmoitettu elinkaarenaikaisia kokonaismääriä (well-to-wheel) tai esim. tien, renkaiden ja jarrutusosien kulumisesta syntyviä PM-päästöjä. (VTT 2019b)

LIPASTO soveltuu Suomessa tapahtuvien palveluiden kulutus- ja päästölaskentaan, sillä se huomioi paikallisen kuljetuskaluston, polttoaineet ja liikenneolosuhteet. Kuljetuspalvelujen energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen laskenta- ja ilmoitusmenetelmät (tavara- ja henkilökuljetukset) -standardi SFS-EN 16258:2012 listaakin LIPASTOn yhdeksi suositelluksi tietolähteeksi. Yksikköpäästötietokannan liikennevälinekohtaiset kertoimet sopivatkin käytettäväksi silloin, kun mitattua polttoaineenkulutusta ei ole saatavilla, mikä on tilanne myös tässä työssä. (VTT 2019b) Näin ollen LIPASTO soveltuu tämän tutkimuksen keskeiseksi tietolähteeksi paikallisten päästöjen laskemista varten ja LIPASTOssa annettuja yksikkökertoimia käytetään Liiterin asiakkaiden asiointimatkojen päästölaskennassa.

4.1.5 LIISA

LIISA on VTT:n kehittämä tieliikenteen päästöjen sekä energiankäytön laskentajärjestelmä sekä Suomen tieliikenteen päästölaskentamalli ja se on myös osa VTT:ssä kehitettyä LIPASTO laskentajärjestelmää. LIISA -mallin olennainen osa on erillinen ALIISA-malli, jolla tuotetaan autokannan suoritteiden jakauma autokohtaisten suoritemäärien pohjalta. Suoritteiden (km/vuosi) ja päästöstandardin mukaan luokiteltujen päästökertoimien (g/km, kWh/km) avulla lasketaan LIISA -mallin lopputuloksena mm. CO-, HC-, NO_x-, PM-, CH₄-, N₂O-, SO₂- ja CO₂-päästöjen määrät valtakunnan sekä kuntakohtaisella tasolla. (VTT 2019a)

Päästölaskenta perustuu polttoaineenkulutukseen ja ALIISA -mallin autokohtaisiin liikennesuoritteisiin. Lisäksi suorite on jaettu katu- ja maantiesuoritteisiin, koska nopeus ja

olosuhteet vaikuttavat kulutukseen ja tätä kautta päästömääriin. Näihin laskelmiin tehdään lisäksi korjauksia myydyin polttoainemäärän perusteella. Kuntakohtaiset liikennesuoritteet eivät tosin ole kovin tarkkoja, sillä ne perustuvat Liikenneviraston ilmoitukseen, jossa on kunnittain eritelty vain maantiesuoritteet ja katusuoritteet on pääkaupunkiseutua lukuun ottamatta suhteutettu asukaslukujen perusteella. Lisäksi CO₂-päästöjen laskentaa hankaloittaa biopolttoaineiden ja seososuuksien vaihteleva käyttö etenkin kaas- ja nk. flexifuel-autoissa (etanolin osuus polttoaineessa 0–85 tilavuusprosenttia) sekä nk. tuplalaskentamahdollisuus (jätteistä tehtävät biopolttoaineet voidaan laskea seososuuksissa kaksinkertaisina), koska biopolttoaineiden käyttö katsotaan laskennassa CO₂:n osalta päästöttömäksi. (VTT 2019a)

4.1.6 Kaupunkilogistiikka

Tavarat liikkuvat kuluttajien koteihin yhä suuremmissa määrin myös perille asti kuljetettuina, kun verkkokaupat tarjoavat kotiinkuljetusta ilman erillistä veloitusta. Varsinaiset kuljetukset hoidetaan pääasiassa eri logistiikkayhtiöiden nimien alla joko yhtiön omalla tai alihankkijan jakelukalustolla. Logistiikkayhtiöt yleensä hoitavat ajojärjestelyt ja jakelureitit, jotta jakelukustannukset saadaan minimoitua. Tällöin pyritään optimoimaan jakelua hoitavan kuljettajan työaika sekä jakelureitin pituus. Minimoitaessa kuljetusmatkojen pituutta minimoidaan samalla jakelun energiankulutus sekä päästöt.

Yksittäisen kuljetusyksikön eli kollin (esim. lava, rullakko, paketti, kirje) koko matkaketju voidaan nykyisin yleensä selvittää toimituksen jättö- tai noutopaikasta saakka etenkin, mikäli sama logistiikkayhtiö pystyy hoitamaan sen kokonaisuudessaan. Vaikka koko matkaketju olisi tiedossa, tarvitaan yksittäisen toimituksen päästölaskentaan myös muutaakin tietoa, sillä harvoin ollaan kuljettamassa vain yhtä kollia paikasta A paikkaan B. Tavallisesti kaupungissa tehtävä jakelukuljetus koostuu useista kohteista, joihin lähetyksiä viedään tai mennään hakemaan, jolloin kuljetusreitistä tulee yksi linja, joka joko kiertää kaikki kohteet rengasmaisesti tai etenee ikään kuin yhteen suuntaan viimeisen kohteen ollessa kauimpana, jonka jälkeen kuljettaja palaa ilman kuormaa tai matkalta noudettujen lähetyksien kanssa takaisin logistiikkakeskukseen. Koko kuljetusreitin tuottamat päästöt jaetaan lähetyksien koosta riippuen joko kolleittain tai painon mukaan painottaen kuljetun matkan pituutta. Pienien ja keveiden lähetyksien vaikutus esim. polttoaineen kulutukseen on tonneja painaviin lähetyksiin verrattuna niin pieni, että tätä ei kannata laskeissa yleensä huomioida. Tällöin päästöjen ositus voidaan tehdä esim. yksinkertaisesti jakamalla koko jakelukierroksen päästöt tasan jakelukohteiden lukumäärän perusteella tai hieman tarkemmin huomioimalla kollien kuljetuskilometrit käyttämällä analogiaa henkilökilometreistä tai tonnikilometreistä, jolloin kollikilometrit (kkm) saadaan laskemalla

kollien lukumäärän ja kuljetun matkan tulo. Tällöin ositus täytyy kuitenkin laskea jokaiselle kohteelle lyhimmän matkan mukaan eikä todellisen jakelureitin mukaisesti, sillä rengasmaisessa jakelureitissä viimeinen kohde voi olla varsin lähellä jakelukeskusta ja koko reitti olisi voitu myös ajaa päinvastaiseen suuntaan. Näin laskemalla reitin laskennalliset kokonaiskollikilometrit poikkeavat todellisesta tilanteesta, mutta tällä tavoin kilometriperustainen päästöositus saadaan kuitenkin tehtyä tasapuolisemmin. Lopulliset päästömäärät kannattaa laskea jakelureitin toteutuneesta kulutuksesta, mutta se on mahdollista tehdä myös laajemman tietoaineiston pohjalta. (Schmied & Knörr 2012)

4.2 Terveysvaikutukset

Ihmiseen liittyvien terveysvaikutuksien arvioiminen ja soveltaminen erilaisiin laskelmiin sisältää yleensä lukuisia epävarmuustekijöitä, mutta niiden painoarvo voi kuitenkin olla varsin merkittävä. Tästä syystä niiden laskentaan liittyviä taustatekijöitä ja oletuksia on hyvä tuntee jonkin verran, jotta niin haitta- kuin hyötyarviot ovat keskenään jokseenkin vertailukelpoisia. Tässä luvussa on käsitelty tutkimuksissa yleisesti esiintyviä termejä sekä aktiivisen liikunnan terveyshyötyjen laskemiseen käytetty verkkopohjainen työkalu HEAT.

4.2.1 Suhteellinen ja absoluuttinen riski sekä suhteellinen tautipaine

Lääketieteellisissä tutkimuksissa hoitojen tai altistumisen vaikutuksista kerrotaan mm. suhteellisena (Relative Risk tai Risk Ratio eli RR) ja absoluuttisena (tai syyksiluettavana, engl. attributable) riskinä (Absolute Risk eli AR). Molemmissa tehdään vertailu kahden ryhmän välillä, joista toinen on altistuva ryhmä ja toinen ei. Etenkin lääkinnälliset kokeet toteutetaan yleensä nk. kaksoissokkotutkimuksena, jossa toinen ryhmä saa hoitoa ja toinen lumehoitoa ilman, että kumpikaan ryhmä tietää kumpaa hoitoa saa. Tutkimuksesta riippumatta tehdään hoidon tai altistumisen jälkeen selvitys molempien ryhmien vasteista valittuja indikaattoreita käyttäen. (Noordzij et al. 2017)

Riskejä arvioidessa halutaan yleensä tutkia terveysvaikutusten esiintyvyyttä eri ryhmien välillä. Tuloksissa nämä voidaan esittää esim. esiintymistiheytenä tai kuolleisuutena. Koska kyse on suhdeluvusta, ei sillä ole yksikköä ja numeerinen arvo on ei-negatiivinen, mutta se voidaan tietysti esittää helposti myös prosentteina. Kun suhdeluku on 1,0, ei ryhmien välillä ole eroja. Tätä suurempi luku tarkoittaa tavallisesti, että altistuneen ryhmän riski on vertailuryhmää suurempi ja vastaavasti kaikki 1,0:a pienemmät ja nollaa suuremmat arvot tarkoittavat, että riski on pienempi. (Noordzij et al. 2017)

Suhteellisen ja absoluuttisen riskin ero ei kuitenkaan ole aivan merkityksetön. Suhteellinen riski on ryhmien välisten esiintyvyyksien osamäärä ja absoluuttinen riski erotus (tai tarkemmin ilmaistuna riskien absoluuttinen erotus). Tästä syystä suhteellinen riski voikin kasvaa hyvinkin suureksi etenkin, kun esiintyvyys altistumattomien ryhmässä on pieni tai molemmissa ryhmissä hyvin pieni. Näissä tilanteissa absoluuttinen riski ilmaisee paremmin todellista muutosta suhteelliseen verrattuna, vaikka muissa tilanteissa erot voivat näyttää luvuista arvioituna pienemmiltä. Absoluuttisen riskin käänteisluvusta voidaan myös laskea hoidettavien määrä, jotta terveyshaittaa ei syntyisi. (Noordzij et al. 2017)

Riskianalyyseissä esiintyy myös termi suhteellinen tautipaine tai vetosuhde (Odds Ratio eli OR), jolle ei tosin ole vielä vakiintunutta suomenkielistä termiä. Se ilmaistaan suhteellisen riskin tavoin ei-negatiivisena lukuna ilman yksikköä. Suhteellinen tautipaine kertoo, kuinka paljon (riski)tekijälle altistuminen aiheuttaa tautipainetta sairastumiseen verrattuna altistumattomaan tilanteeseen eli ts. kuinka etäällä toisistaan kaksi todennäköisyyttä tai suhteellista osuutta (esim. sairastuneiden ja terveiden suhde altistuesssa vs. altistumatta) ovat toisistaan. Suhdetta laskiessa ei suoraan verrata varsinaisia todennäköisyyksiä, joita käytetään esim. suhteellisen riskin laskemisessa (sairastuneiden osuus otoksesta altistuesssa vs. altistumatta) vaan siinä verrataan tapahtumien ja sen vastatapahtumien (sairastumisen vs. terveen) todennäköisyyksien suhteita toisiinsa. Laskettu suhde ei myöskään kerro suoraan todennäköisyyksien suhdetta, joten se ei suoraan kerro kuinka moninkertainen riski sairastumiseen on, mutta tämä voidaan tautipaineesta kuitenkin laskea. (Rita & Virtala 2013; Rita 2004)

Tautipainetta käytetään esim. vertailuun eri tutkimustuloksien ja altistumisien välillä. Intuitiivisesti on vaikea arvioida, onko osuuden tai todennäköisyyden A ja B välinen ero suurempi kuin C:n ja D:n etenkin, jos summa A+B on paljon pienempi kuin C+D. Toinen käyttötapa on altistumisen suuruuden (esim. pitoisuuden tai ajan) varioinnissa, johon tarvitaan lisäksi logistista regressiota. On tärkeää huomata, että tautipaineen arvo riippuu siitä, miten päin suhde lasketaan; verrataanko isompaa osuutta pienempään vai päinvastoin, jolloin saatu arvo on vastaavasti joko ykköstä suurempi tai pienempi. Käänteisarvon laskeminen ei sinänsä ole ongelmallista, mutta tämä seikka täytyy vain huomioida, kun tautipaineita verrataan keskenään tai tehdään lukujen perusteella päätelmiä. (Rita & Virtala 2013; Rita 2004)

4.2.2 Maksu- ja hyväksymishalukkuus

Maksuhalukkuudella (Willingness To Pay eli WTP) mitataan, kuinka paljon tuotteen tai asian kuten riskin pienentämisestä ollaan halukkaita enimmillään maksamaan. WTP:n vastakohta eli hyväksymishalukkuus (Willingness to Accept eli WTA) puolestaan mittaa,

mihin minimihintaan jonkin asian menettäminen tai myyminen hyväksytään. Näitä selvitetään pääasiassa RP- ja SP-tutkimuksina, joiden tuloksista saadaan hinta-arvioita niin kulutustuotteille kuin terveydelle. Saman asian hintaa tutkittaessa keskimääräisten WTP- ja WTA-hintojen pitäisi teoriassa olla samansuuruiset, mutta kyselytulokset osoittavat WTA-hintojen olevan yleisesti suurempia. Tavallisissa kulutushyödykkeissä ero ei ole kovin merkittävä (n. kaksinkertainen verrattuna WTP:hen), mutta asioissa, joille ei ole suoranaista markkinahintaa kuten terveys tai aika, ero kasvaa noin kymmenkertaiseksi eli varsin suureksi. Syy tähän lieenee pitkälti psykologinen, sillä menettäminen koetaan voimakkaammin, jolloin hyödykkeestä tavoitellaan suurempaa hintaa kuin siitä olisi valmis maksamaan ja vastaavasti menetyksen pieneneminen koetaan paremmaksi kuin vastaavan suuruisen hyödyn saaminen. Toisaalta kyse voi olla myös taloudellisen hyödyn tavoittelusta, jolloin käytettävälle rahalle odotetaan voittoa tai ts. saadun hyödyn arvo koetaan sen rahallista arvoa suuremmaksi ja tällöin sen menettämistä täytyisi myös saada suurempi kompensatio. (Brown & Gregory 1999; Horowitz & McConnell 2002)

Terveyteen ja ympäristöön liittyvissä hinnoitteluarviossa WTP on kuitenkin jokseenkin vakiintunut käytäntö. Asioiden ”myyminen” on useimmille vaikeammin hahmotettavissa, sillä tavallisesti sitä tehdään ostamista harvemmin, jolloin etenkin markkinoiden ulkopuolisten asioiden hinnoittelu lisää epävarmuuksia tutkimuksien tuloksiin. Lisäksi tilanteissa, joille ei ole selkeästi määritettyä markkinahintaa menetyksen liittyvä tunnereaktio saa vastaajat helposti liioittelemaan rahallisia arvioita. Toisinaan syynä voi myös olla se, ettei WTA-menetelmiä yksinkertaisesti tunneta tarpeeksi hyvin tai pidetä riittävän tarkkoina. Ainoastaan WTP:n hyödyntäminen kuitenkin todennäköisesti aliarvioi rahallista arvoa ja tämä täytyy ottaa myös huomioon lukuarvoja käytettäessä. (Brown & Gregory 1999)

WHO on hyödyntänyt WTP:tä vuosikymmeniä ja sen avulla määritetään mm. tilastollisen elämän arvo (VSL) suhteuttamalla maksuhalukkuus kuolemanriskin pienentämisen suuruuteen. VSL:ää hyödynnetään tutkimuksissa, joissa kuolleisuuden muutoksilla voidaan arvioida taloudellisia vaikutuksia mm. kansantalouteen. Esimerkiksi liikenneonnettomuuksien vähentämiseen tehtyjen toimenpiteiden hinnan ja sen myötä kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien vähentymisen suhteesta voidaan tehdä johdonmukainen hyötykustannuslaskelma. (WHO 2015; Wijnen et al. 2019)

VSL:n käyttäminen ei kuitenkaan kaikissa tapauksissa ole aivan tarkoituksenmukaista, sillä kuolemat ja niihin vaikuttavat syyt voivat painottua aivan eri ikäryhmiin verrattuna siihen, mitä painotusta keskimääräisen VSL:n laskennassa on käytetty. Tällöin nuorten kuolemien osalta menetettyjä elinvuosia voi jäädä huomiotta varsin paljon tai hyvin iäkkäiden viimeiset vuodet saavat merkittävästi suuremman painoarvon. Näistä syistä mm.

ilmansaasteiden haittoja arvotetaan myös menetettyjen elinvuosien pohjalta (VOLY). Ennen aikaisen kuolemien lukumäärän todentaminen juuri ilmansaasteiden aiheuttamaksi on myös varsin kyseenalaista verrattuna esim. liikenneonnettomuuksiin, sillä vaikutukset eivät tapahdu välittömästi vaan ne muodostuvat pitkäaikaisen altistuksen myötä, jolloin kuolleiden kokonaismäärän arviointi ei ole aivan yksiselitteistä. Tällöin eliniänodotteen lyheneminen (Loss of Life Expectancy eli LLE) on tarkoituksenmukaisempi tapa arvioida tällaisten haittojen riskiä. Keskimääräinen VOLY-arvio voidaankin laskea suoraan tämän riskin pohjalta WTP:tä hyödyntämällä tai johtaa suoraan VSL:stä. (Rabl 2003; Savolahti et al. 2018)

4.2.3 Inhimillinen pääoma sekä terveydenhuollon kustannukset

Ihmiselämä voidaan arvottaa myös tuotannon ja kuluttamisen näkökulmasta. Tällöin ihmisen menetetty bruttotuotanto arvioidaan sen perusteella, kuinka paljon menetetyt elinvuodet tai alentunut työkyky vaikuttavat ihmisen tuotantokykyyn luoda arvoa työn ja mahdollisten lapsien kautta kansantalouteen. Lisäksi voidaan huomioida työstä saamatta jäämien ansiotulojen käyttäminen kulutukseen. (Wijnen et al. 2019)

Etenkin tuotannon kannalta on kuitenkin vaikea tehdä arvioita, kuinka paljon tuottavuus mahdollisesti kasvaa, mikä on puolestaan yhteydessä bruttokansantuotteeseen. Lisäksi täytyisi arvioida, onko tulevaisuudessa tehty työ ja kulutus yhtä arvokasta verrattuna nykyhetkeen. Yleensä taloudellisissa arvioissa nykyhetken kustannukset ja hyödyt arvotetaan tulevaisuudessa tehtyjä arvokkaammiksi, jolloin myöhemmin muodostuneet menot ja tulot diskontataan valitulla korkotasolla (tavallisesti 2–6 %) nykyhetkeen. (Wijnen et al. 2019)

Sairauksista ja onnettomuuksista aiheutuvia haittoja voidaan yrittää poistaa tai lieventää terveydenhuollossa. Tällöin voidaan puhua toimintakyvyn palauttamisesta entiselleen niiltä osin, kun se on mahdollista ja tämä puolestaan tuottaa suoria kustannuksia terveydenhuollossa. Yleisesti tähän mukaan luetaan mm. sairaalayöpymiset, ensihoito ja ambulanssikuljetukset, sairaala- ja avohoito, muiden laitosten hoito. Nämä tietysti sisältävät työvoima-, hoitoväline-, lääkintä- ja ym. kuluja, jotka tilastollista tarkastelua varten jaetaan ensin yksikkökustannuksiksi (esim. per ambulanssimatka, sairaalayöpyminen, hoitokerta) ja sitten kohdentaa eri sairauksille ja onnettomuuksille esim. tapausmäärien, vakavuuden tai tautitaakan mukaan. Liikenneonnettomuuksiin liittyy myös muita kustannuksia kuten niihin liittyvä ruuhkautuminen, omaisuusvahingot, viranomaiskulut, vakuutukset. (Wijnen et al. 2019)

4.2.4 Tautitaakka

Terveysvaikutuksien laajuutta voidaan arvioida väestön tasolla myös tautitaakkana (Burden of Disease eli BoD), joka mittaa väestön terveysmenetyksiä haippainotettuina elinvuosina (Disability Adjusted Life-Years eli DALY). Menetelmän on alun perin kehittänyt WHO Maailmanpankin tilaamaa vuonna 1993 Global Burden Disease (GBD) -julkaisua varten ja sitä on päivitetty tämän jälkeen vuosien 2000–2002 sekä 2000–2012 laskentoja varten. The Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) alkoi 2010-luvulla tehdä WHO:n kanssa yhteistyötä menetelmän sekä tuloksien kehittämiseksi, joiden työn tuloksena julkaistiin useita artikkeleita vuonna 2012. WHO ei lopulta hyväksynyt tuloksia, sillä se ei päässyt tarkastelemaan aineistoja ja menetelmiä toivomallaan laajuudella, joten se julkaisi omat Global Health Estimates (GHE) laskelmansa vuonna 2013 yhteistyössä mm. IHME:n kanssa. IHME on tämän jälkeen julkaissut vielä omat GBD tutkimuksensa 2014 ja 2015. Menetelmän avulla molemmat järjestöt ovat laskeneet arvioita sairastavuudesta sekä kuolleisuudesta maittain, terveyttä vähentävien tekijöiden, iän ja sukupuolen mukaan. DALY-laskennassa WHO käytti ennen 3 % diskonttausta sekä ikäpainotusta, mutta näistä on vuoden 2013 päivityksessä luovuttu. (WHO 2013)

Tekijät on jaettu kolmeen pääryhmään, jotka on lisäksi tarkennettu GHE:ssä alaryhmiin, joiden alla on varsinaiset haitanaiheuttajat (vaikkakin ensimmäisessä osiossa on vielä näillekin omia alaryhmiään). Pääryhmät ovat:

- I. tarttuvat taudit sekä äitiin liittyvät, perinataaliset (eli syntymän aikana tai pian syntymän jälkeen) ja ravitsemukselliset tilat (5 alaryhmää, 30 haittaa),
- II. ei-tarttuvat taudit (15 alaryhmää, 75 haittaa),
- III. vammat (2 alaryhmää, 10 haittaa).

Yhteensä eri luokkia on 163 ja jokainen näistä sisältää yhden tai useita kansainvälisen tautiluokituksen 10-version (International Classification of Diseases eli ICD-10) mukaisesti luokiteltuja sairauksia. (WHO 2013) Samaa, alun perin vuonna 1990 julkaistua luokitusta käytetään yhä yli sadassa maassa (ml. Suomi), joten sen mukaisesti tehty tilastointi on vertailukelpoista hyvin laajalla alueella säännöllisesti tehdyistä päivityksistä huolimatta. Vuonna 2018 kuitenkin julkaistiin uudistettu versio ICD-11, jossa koodaukseen lisättiin mahdollisuus antaa aiempaa tarkemmin yksityiskohtia, mikä mm. parantaa koodauksen hyödyntämistä tieteellisessä tutkimuksessa. ICD-11 on tarkoitus ottaa käyttöön jäsenmaissa vuoden 2022 alussa, kun sen käyttöönoton valmistelut ja käännöstyöt on saatu valmiiksi. (WHO 2019)

Tautitaakka on sairauden takia menetettyjen, haippainotettujen elinvuosien (Year Lived with Disability eli YLD) sekä ennenaikaisesti menetettyjen elinvuosien (Years of Life Lost

eli YLL) summa. Koska nämä menetykset riippuvat haitanaiheuttajasta (cause eli c), sairastuneen iästä (age eli a), sukupuolesta (sex eli s) sekä tarkasteluvuodesta (time eli t) lasketaan DALY:

$$DALY(c, s, a, t) = YLL(c, s, a, t) + YLD(c, s, a, t). \quad (1)$$

YLL on puolestaan kuolleiden lukumäärän $N(c, s, a, t)$ sekä menetettyjen ikävuosien funktion $L(a)$ tulo eli:

$$YLL(c, s, a, t) = N(c, s, a, t) \cdot L(a). \quad (2)$$

Funktio $L(a)$ määrittää siis menetettyjen vuosien määrän iässä a kuolleille. Tällä hetkellä 0–69 vuotiaan ihmisen eliniän odote on n. 92 vuotta, mutta funktio ei rajoitu yläpäästä tähän, vaan 70 ikävuodesta lähtien eliniän odote kasvaa iän mukana hidastuen n. 106 ikävuoteen saakka. (WHO 2013)

YLD:n laskenta voidaan tehdä joko ilmaantuvuuden perusteella eli tapausmäärien, haitan painokertoimen sekä haitan keskimääräisen pituuden tulona tai esiintyvyyden perusteella eli haittapainokertoimen ja esiintyvyyden tulona. Nykykäytäntö on laskea YLD jälkimmäisellä tavalla, sillä ilmaantuvuus yliarvio useiden sairauksien yhteistaakkaa etenkin vanhemmilla ihmisillä. Esiintyvyyden mukaan laskettaessa nämä erilliset haitat voidaankin yhdistää yhdeksi YLD-arvoksi, jolloin saadaan yleensä hieman paremmin todellista tilannetta vastaava arvio. (WHO 2013)

Ympäristöhaittojen kuten ilmansaasteiden tautitaakan tarkastelua varten tämä menetelmä ei sovellu sellaisenaan, sillä haitan esiintyvyys riippuu altistumisesta. Tätä arvioidaankin yleisesti väestönsyysosuuden (Population Attributable Fraction eli PAF) avulla, jonka laskemiseksi tarvitaan tiedot altistuvien osuudesta lähdeväestössä sekä suhteellisesta riskistä RR, joka on yleensä määritelty eri päästölähteille ja altistumistasoille tilastollisen tutkimuksen avulla, jolloin tavallisesti on laskettu altistumisyksikköä eli pitoisuutta (esim. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tai ppm) kohden normitettu riski RR° , josta varsinainen RR saadaan tarkastellun altistumistason potenssina. (Lehtomäki et al. 2015)

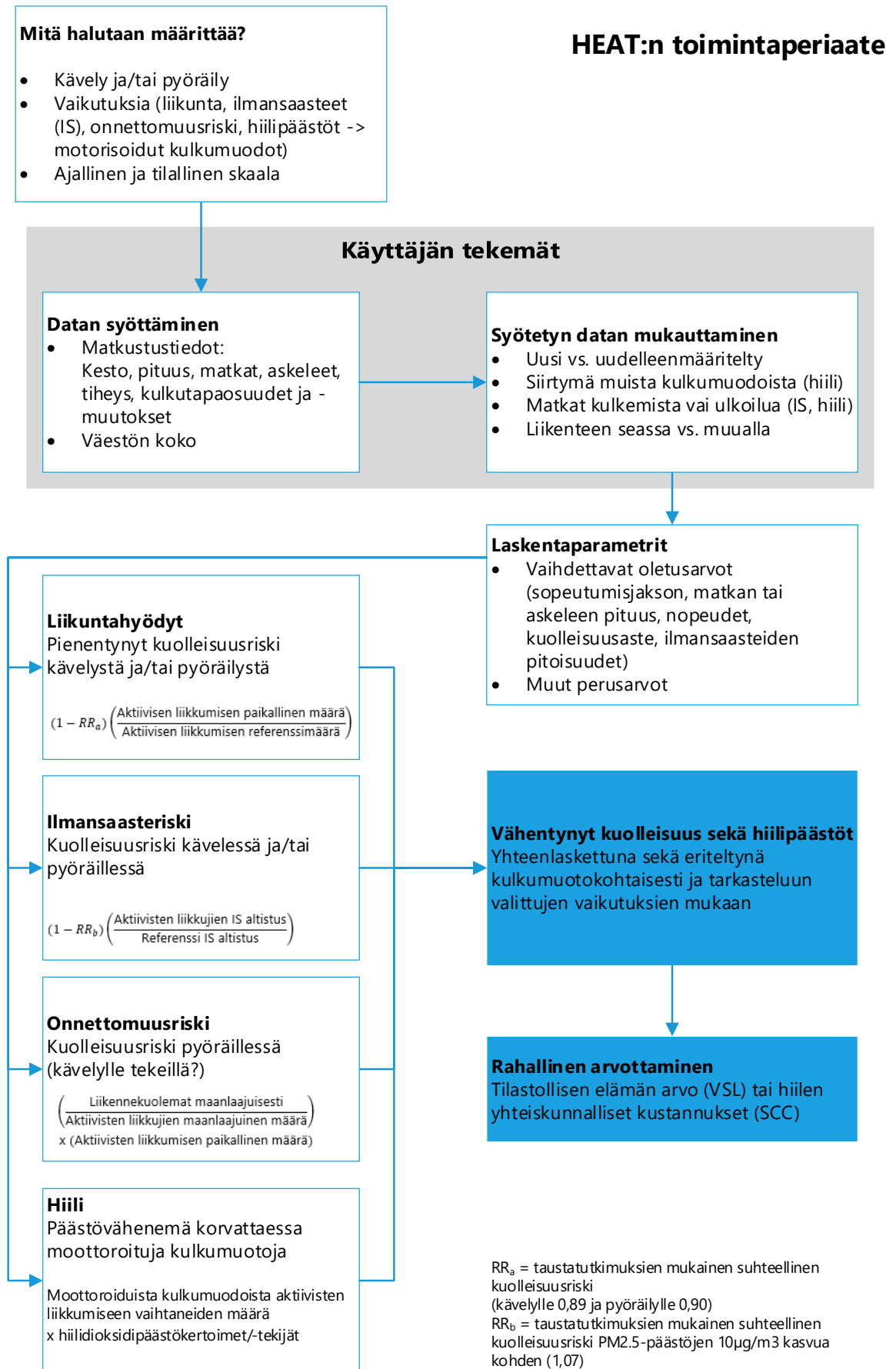
Kun suhteellista riskiä ei ole määritetty tai tarkasteltu altistumistaso on terveysvaikutusten kynnsarvon alapuolella, voidaan käyttää esim. annos-vastepareille selvitettyjä yksikköriskejä (Unit Risk eli UR). Nämä ovat suhteellisia arvioita tietyllä altistumistasolla havaittujen terveysvaikutusten lukumääristä, jolloin lineaarinen arvio syyksiluettavista tapauksista (Attributable Cases eli AC) voidaan tehdä tarkastellulle väestölle altistustason, yksikköriskin ja altistuneen väestömäärän tulona. Lopullinen PAF näissä tapauksissa saadaan, kun verrataan vastaavien tapausten kokonaismäärää syyksiluettaviin tapauksiin. (Lehtomäki et al. 2015; Hänninen et al. 2014)

On huomioitava, että laskenta on tehtävä jokaiselle väestöosuudelle (eli lähinnä pitoisuusalueille), haitalle tai syyllä sekä ilmansaastetyypille erikseen. Lisäksi tämän jälkeen on toisinaan vielä sovellettava sekä arvioitava yhteistautitaakan YLD:tä, sillä ilmansaasteet sisältävät lukuisia haitallisia yhdisteitä, joille altistutaan samanaikaisesti, ja myös siitä syystä, ettei terveysvaikutuksia voida aina kohdentaa tietyn päästöluokan aiheuttamaksi. Lopullinen rahallinen arvotus pitää kuitenkin tehdä toisilla menetelmillä, koska tautitaakka kertoo ainoastaan väestön terveyden menetyksien suuruusluokan.

4.2.5 Health Economic Assessment Tool (HEAT)

HEAT on vuodesta 2005 alkaen WHO:n koordinoima ja tutkimustiedon pohjalta kehitetty laskentatyökalu kävelyn ja pyöräilyn taloudellisten vaikutusten arviointiin väestöryhmissä. HEAT:n nykyisessä versiossa voidaan arvioida lähtötietojen pohjalta aktiivisen liikunnan terveyshyötyjä, aktiivisten liikkujien ilmansaasteriskiä, pyöräilyn onnettomuusriskiä ja CO₂-päästöjen vähenemää korvattaessa motorisoituja kulkumuotoja. Valittujen tarkasteluvaihtojen perusteella voidaan laskea vähentynyt kuolleisuus ja CO₂-päästömäärä, jotka lopuksi arvotetaan rahallisesti. HEAT:ä voi käyttää sen omassa verkkopalvelussa www.heatwalkingcycling.org. (Kahlmeier et al. 2017)

HEAT:n toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5. Laskennan perusidea on vertailla tarkasteluajanjaksolla ja -väestön (20–74-vuotiaat) kuolemien kokonaismäärää keskimääräiseen tilanteeseen verrattuna hyödyntäen suhteellista riskiä. Aktiivinen liikkuminen pienentää kuolleisuusriskiä ja vastaavasti aktiivisten liikkujien ilmansaasteille altistuminen ja mahdollisesti lisääntyneet onnettomuudet kasvattavat sitä. Kävelyä 168 min/vko (52 vko/vuosi) vastaa 11 % pienempää riskiä kuolla kuin ei kävelevällä ja vastaavasti pyöräilyä 100 min/vko vastaa 10 % pienempää riskiä pyöräilemättömään verrattuna. HEAT:ssä terveyshyötyjen sekä ilmansaastealtistuksien annos-vastesuhde oletetaan lineaariseksi ilman kynnysarvoja, mutta kasvu on rajattu loppumaan kävelyn osalta 30 % (460 min/vko), pyöräilyssä 45 % (447 min/vko) ja ilmansaasteille PM_{2.5}-pitoisuutena 50 µg/m³. (Kahlmeier et al. 2017)



Kuva 5. Health economic assessment tool:n toimintaperiaate (suom. Kahlmeier et al. 2017, s. 22)

HEAT:iin on kerätty valmiiksi monia ja myös maakohtaisia lähtöarvoja, joita voi käyttää laskuissa. Maakohtaisia arvoja ovat kuolleisuus, VSL, SCC sekä onnettomuustiheys, joista viimeksi mainitulle on myös annettu arvio viisiportaisella asteikolla (erittäin alhainen – hyvin korkea) tiedon luotettavuudesta tietolähteiden laadun ja kattavuuden perusteella. Useimmat laskennassa käytetyistä arvoista ovat kuitenkin vaihdettavissa vastaamaan paremmin tarkastelualueen tilannetta, mutta tieteelliseen tutkimukseen perustuvat arvot eivät ole muutettavissa. Esimerkiksi maakohtainen VSL on laskettu WTP:n avulla OECD:n maiden keskiarvosta ja sitä on korjattu maakohtaisilla kertoimilla reaaliarvoisen inflaatiokorjatun bruttokansantuotteen sekä valuuttakurssien mukaan. Alkuperäinen arvo vuodelta 2005, joten tähän on tehty vielä maakohtaiset inflaatio- sekä ostovoimakorjaukset vuosilta 2005–2015. Laskuriin on valmiiksi tehty myös mahdollisuus tehdä joko yhden tai kahden tilanteen analyysi, jolloin voidaan helposti myös tehdä vertailuja eri skenaarioissa tai valitun aikavälin muutoksesta. (Kahlmeier et al. 2017)

HEAT:ssä on tietysti myös omat rajoituksensa ja kompromissinsa mm. helppokäyttöisyyden sekä yleistämisen vuoksi. Laskelmia varten joudutaan tekemään monenlaisia oletuksia ja käyttämään keskimääräisiä arvoja, jolloin käytetyt arvot ja tulokset ovat yhdenlaisia arvioita. (Kahlmeier et al. 2017) Varsinkin laskurin antamiin sekä muokattavissa oleviin arvoihin kannattaa suhtautua varauksella ja tarkistaa niiden vastaavuus tarkastelukohteen kannalta, mikäli se vain on mahdollista. Ehkä suurin puute liittyy onnettomuuskustannuksien laskentaan, sillä HEAT huomioi toistaiseksi vain pyöräilijöiden kuolemaan johtaneet onnettomuudet. Tämän ongelman pystyy osittain ratkaisemaan suhteuttamalla kuolemaan ja ei-kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien kustannuksia ja laskemalla näistä korkeampi onnettomuustiheyden arvo. Kävelylle suuntaa antavan arvion onnettomuuskustannuksista voinee laskea pyöräilyn laskuria hyödyntämällä, kunhan onnettomuustiheys on vain tiedossa ja terveyshyötyinä huomioi erikseen kävelijöille tarkoitetun laskurin tulokset. Toinen puute koskee tarkasteluväestön kokonaisaltistusta ilmansaasteille, sillä lisääntynyt aktiivinen liikkuminen voi vähentää autoilun määrää, mikä johtaisi kokonaisaltistuksen vähentymiseen, vaikka aktiivisten liikkujien altistus kasvaisikin. Tämän vaikutus on tosin rahallisen arvion kannalta selkeästi marginaalisempi ei-kuolemaan johtaneisiin onnettomuuksiin verrattuna.

4.3 Laskennoissa käytettävät yksikkökertoimet

Tässä luvussa on esitetty ja laskettu lopullisissa laskennoissa käytettävät yksikkökertoimet kulkumuoto- ja päästöryhmäkohtaisesti pääasiallisesti vuoden 2018 hinnoissa. Henkilöautojen liikkumiskustannuksia ja kaikkia päästökertoimia lukuun ottamatta esitettyjä

yksikkökertoimia voi käyttää vastaavan tyyppisissä laskelmissa todennäköisesti vuosia-kin myöhemmin, jos niihin vain tehdään elinkustannusindeksin mukaiset korjaukset. Autoilun kustannusarvio ja päästökertoimet perustuvat muutaman vuoden takaiseen autokantaan, jonka muuttuessa niin keskimääräiset kustannukset kuin päästötkin myös muuttuvat.

4.3.1 Liikkumiskustannukset

Liikkumiskustannukset kilometriä tai matkaa kohden sisältävät liikkujan itse maksamat kulut päästäkseen paikasta toiseen. Tämä rajaa ulkopuolelle myös aikakustannukset, eikä niitä tässä työssä myöskään huomioida. Henkilöautoilun osalta tähän lasketaan niin kiinteät kuin muuttuvat kustannukset, jotka tosin vaihtelevat paljon käytettävän auton tai palvelun mukaan. Joukkoliikenteen käyttäjän ainut kustannus muodostuu matkalipun hankinnasta, jossa hinta vaihtelee käytettävän lipputyypin, matkustettavien matkojen määrän ja pituuden mukaan. Pyöräilijän kustannukset koostuvat lähinnä pyörän ja sen huoltojen sekä varusteiden hankinnasta. Pääkaupunkiseudulla on nykyisin myös mahdollista hyödyntää keväästä syksyyn laajaa kaupunkipyöräjärjestelmää, jolloin kustannuksiin vaikuttaa käytetäänkö kerta- vai kausimaksua. Kävelijälle kustannuksia syntyy lähinnä vain kenkien nopeammasta kulumisesta.

Yleisin tapa käyttää henkilöautoa Suomessa on oman auton omistaminen, jolloin kustannukset muodostuvat auton hankinnasta, rahoituksesta, katsastamisesta, huolloista (ml. varaosat, renkaat, peseminen, nesteet yms.), pysäköinnistä, vakuutusmaksuista (liikenne sekä mahdollinen kasko), käyttövoimasta (polttoaine, sähkö tai molemmat) sekä erilaisista veroista (auto-, ajoneuvo-, polttoaine-, käyttövoima- sekä arvonlisävero, jota maksetaan uudesta autosta, polttoaineesta, huolloista ja vakuutuksista). Lisäksi tavallisten käytössä olevien autojen arvo alenee ajan kulumisen ja ajettujen kilometrien myötä, mikä voidaan lukea käyttökustannukseksi. Suomessa vähemmän käytetty tapa on auton eripituiset vuokra- ja käyttösopimukset, joissa maksetaan sopimuksen mukaista joko pelkästään kiinteää aika-, kilometri- tai näiden yhdistelmäperusteista maksua tai vaihtoehtoisesti näiden lisäksi maksetaan vielä erikseen esim. polttoaine ja huollot. Yksinkertaisemman autoilun kustannusmallin voisi perustaa vuokraushinnastoihin, mutta tässä työssä hinta-arvio muodostetaan auton omistamisen kustannuksien kautta.

Auton vuosittaiset kustannukset vaihtelevat paljon auton iän, mallin, vakuutuksien ja ajettujen kilometrien mukaan. Kustannukset jakautuvat karkeasti ottaen kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Auton hankinnan, rahoituksen, vuosittaisten verojen, vakuutuksien ja katsastuksen kustannukset eivät muutu ajomäärien perusteella, jolloin niitä voidaan

pitää kiinteinä kuluina. Käytännössä kaikki muut kustannukset ovat suurelta osin riippuvaisia ajoneuvolla ajettujen kilometrien määrästä, jolloin ne voidaan lukea muuttuviksi kustannuksiksi. Mikäli asiaa tarkasteltaisiin kilometrien perusteella, jaottelu kääntyy päinvastaiseksi. Auton arvon aleneminen kuuluu molempiin ryhmiin, sillä siihen vaikuttavat merkittävästi niin ajan kuluminen kuin ajatut kilometrit.

Tässä työssä ei tehdä kovin syvällistä analyysia autoilun kustannuksista autokannan sekä erilaisten kustannusten vaihtelevuudesta johtuen. Arviossa kuitenkin hyödynnetään Traficomien avointa autokanta-aineistoa (versio 5.4, julkaistu 10.10.2018) vuosittaisten ajosuorite- ja vuosimallijakaumien laskemiseksi. Keskeiset vuosikustannusarviot saatiin puolestaan Leppikankaan (2015) opinnäytetyöstä, jossa on huomioitu monipuolisesti eri kustannuslähteitä, mutta kenties tämän vuoksi eri kustannusarviot ovat varsin karkeita, kun aineiston laajuus kustannuslähdeä kohden on jouduttu pitämään varsin minimaalisena. Tällöin työssä ei myöskään ole voitu tehdä tarkempia herkkyysanalyyskejä esim. hintojen keskihajonnan perusteella. Pääosin näistä syistä tässäkin työssä ei kannata hyödyntää kovin tarkkoja ja monipuolisia menetelmiä edellisten tulosten jalostamiseksi. Näin ollen laskenta perustuukin pitkälti keskiarvoihin ja niiden painotuksiin.

Koska Leppikangas (2015) oli jakanut kustannukset ryhmiin auton vuosimallin ja vuodessa ajettujen kilometrimäärien perusteella tehtiin vastaava jaottelu Traficomien (2018) autokantaan. Vuosimallit jaettiin ryhmiin siten, että uusinta vuosimallia tässä työssä edustaa 2018 (vuosina 2016–2018 käyttöönotetut autot) ja loput ryhmät ovat 2013, 2008, 2003 ja 1998 (jokaisessa mukana ± 2 vuotta ryhmän nimellisikää uudemmat ja vanhemmat autot). Tämän jaottelun mukaan saatiin Tilastokeskuksen (2019b) tietojen (perustuvat tosin Traficomien rekisteriin) pohjalta laskettua ikäryhmien osuuskoot liikennekäytössä olevista henkilöautoista. Osuudet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Liikennekäytössä olevien henkilöautojen määrät ja osuudet vuosiryhmittäin. (Tilastokeskus 2019b)

Vuosiryhmä	Käyttöönottovuosi	Henkilöautoja liikennekäytössä	Osuus koko autokannasta
2018	2016–2018	355 143	13,2 %
2013	2011–2015	590 074	21,9 %
2008	2006–2010	651 861	24,2 %
2003	2001–2005	584 834	21,7 %
1998	1996–2000	299 422	11,1 %
	yhteensä	2 481 334	92,0 %
	koko autokanta	2 696 334	

Traficomien (2018) aineistosta valikoitiin tarkasteluun vuosina 1996–2018 käyttöönotetut henkilöautot (aineiston M1-luokka), joille oli kirjattu mittarilukema. Uusimpien autojen kohdalla aineisto onkin varsin vaillinaisen (vain 16 133 kpl), sillä näillä autoilla on harvempi katsastusväli, jolloin mittarilukemia ei myöskään ole juuri saatavilla. Valittuun ai-

neistoon laskettiin ensin jokaisen auton ikä alkaen vuodesta 2018 ja sen perusteella laskettiin jokaiselle autolle keskimääräiset vuosittaiset liikennesuoritteet. Tämän jälkeen aineistoon määritettiin ryhmäluokitukset em. vuosiryhmittelyn sekä taulukossa 3 esitetyn jaon mukaisesti vuosittain ajettujen kilometrien perusteella. Valitut km-ryhmien nimellisarvot valikoituivat Leppikankaan (2015) työn mukaisesti, mutta ala- ja ylärajat otettiin yksinkertaisesti km-ryhmien keskiarvoina eli käytännössä $\pm 7\,500$ km. Aineisto voitiin lopulta ristiintaulukoida ryhmien mukaisesti ja tulokseksi saatiin taulukossa 3 esitetyt autojen kappalemäärät sekä osuudet ryhmittäin. Km-ryhmistä laskettiin myös kilometrimäärien keskiarvot, jotka olivat keskimäärin 2 000–3 000 km alle ryhmän nimellisarvon (pl. 15 000 km-ryhmä, jossa alitus n. 400 km), joten ryhmiä pystyisi vielä pienillä rajojen muutoksilla saamaan edustamaan nimellisarvoaan paremmin, mutta tätä iterointia ei tässä yhteydessä toteutettu.

Taulukko 3. Henkilöautojen lasketut määrät ja osuudet km-ryhmittäin. (Traficom 2018)

vuosiryhmä	Alaraja Ylärajaa	km-ryhmä						yhteensä
		alle 15 000	15 000	30 000	45 000	60 000	yli 60 000	
		0	7 500	22 500	37 500	52 500	67 500	
		7 500	22 500	37 500	52 500	67 500	-	
2018	kpl	7 132	3 131	1 465	892	823	2 690	16 133
	[%]	44,2 %	19,4 %	9,1 %	5,5 %	5,1 %	16,7 %	100 %
2013	kpl	59 353	348 331	115 002	19 480	5 279	4 659	552 104
	[%]	10,8 %	63,1 %	20,8 %	3,5 %	1,0 %	0,8 %	100 %
2008	kpl	44 913	430 434	143 650	12 407	1 848	2 207	635 459
	[%]	7,1 %	67,7 %	22,6 %	2,0 %	0,3 %	0,3 %	100 %
2003	kpl	46 263	459 454	71 530	3 966	454	1 765	583 432
	[%]	7,9 %	78,8 %	12,3 %	0,7 %	0,1 %	0,3 %	100 %
1998	kpl	39 144	252 968	16 659	668	113	962	310 514
	[%]	12,6 %	81,5 %	5,4 %	0,2 %	0,0 %	0,3 %	100 %

Kun verrataan taulukoiden välisiä yhteismääriä, huomataan, että vanhimpien autojen osalta määrät jopa ylittävät liikennekäytössä olevien määrän, kun aivan uusimpien osalta mittarilukemadataa on saatavilla selkeästi vähemmän. Autokannan oletetaan olevan jokseenkin normaalijakautunut, joten muiden paitsi 2018 vuosiryhmän jakaumat ovat varsin samankaltaiset ja täten analyysiin sopivia. Autojen iän kasvaessa keskimääräiset liikennesuoritteet näyttävät vähenevän todennäköisesti niiden käytöstä poistamisen myötä, mutta näitä autoja voidaan myös pitää enemmän talouksien toissijaisina tai harrasteautoina.

Varsinainen kustannusanalyysi suoritettiin laskemalla painotettu keskiarvo €/km vuosiryhmittäin käyttämällä Leppikankaan (2015) km-ryhmäkohtaista (ryhmät 15 000, 30 000, 45 000 ja 60 000) kustannusarvioita. Leppikankaan tarkastellut vuosimallit oli valittu viiden vuoden välein vuodesta 2014 alaspäin, ja tätä työtä varten näihin tehtiin neljän vuoden lisäys, jotta autojen ikä ja kustannusrakenne olisivat jokseenkin vastaavia. Kustannus liikennesuoritetta kohden (€/km) laskettiin yksinkertaisesti jakamalla vuosikustannus

km-ryhmän liikennesuorituksen nimellisarvolla. Jokaisen vuosiryhmän keskimääräinen kilometrikustannus laskettiin painotettuna keskiarvona käyttämällä km-ryhmien osuuksien suuruutta painotuskertoimina. Lopullinen kilometrikustannus laskettiin painotettuna keskiarvona käyttämällä painokertoimina liikennekäytössä olevan autokannan vuosiryhmäosuuksia (Taulukko 2). Käytetyt lukuarvot ja niistä tehtyjen laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Autoilun kustannukset €/km osuuksien mukaan painotetuilla keskiarvoilla laskettuna. Vuosikustannuksina käytetty Leppikankaan (2015) arvioita.

Vuosiryhmä		km-ryhmä				Osuuksien summa	Painotettu keskiarvo
		15 000	30 000	45 000	60 000		
2018	vuosikust.	9 516 €	11 246 €	12 977 €	14 707 €		
	€/km	0,6344	0,3749	0,2884	0,2451	39,1 %	0,4745
2013	vuosikust.	5 690 €	7 593 €	9 496 €	11 399 €		
	€/km	0,3793	0,2531	0,2110	0,1900	88,4 %	0,3408
2008	vuosikust.	4 632 €	6 790 €	8 948 €	11 106 €		
	€/km	0,3088	0,2263	0,1988	0,1851	92,6 %	0,2860
2003	vuosikust.	3 977 €	6 220 €	8 462 €	10 705 €		
	€/km	0,2651	0,2073	0,1880	0,1784	91,8 %	0,2568
1998	vuosikust.	3 705 €	6 187 €	8 668 €	11 150 €		
	€/km	0,2470	0,2062	0,1926	0,1858	87,1 %	0,2443
Liikennekäytössä olevan autokannan mukaan painotettu keskiarvo (€/km):							0,3141

Vuosiryhmää 2018 lukuun ottamatta ryhmät sisältävät n. 90 % ikäryhmänsä autokannasta, joten näiltä osin kilometrikustannusten voidaan olettaa olevan jokseenkin oikean suuntaiset. Uusimpien autojen osalta vaillinainen aineisto on painotukseltaan varsin erilainen muihin ryhmiin verrattuna, ja lisäksi se edustaa vain n. 39 % ikäluokkansa autokannasta, jolloin ryhmän laskettu kilometrikustannus on vain suuntaa antava. Liikennekäytössä olevien uusien autojen määrä on tosin melko vähäinen 2003–2013 ryhmiin verrattuna, jolloin uusille autoille ei tuli kovin suurta painotusta lopullisessa tuloksessa. Jättämällä vuosiryhmän 2018 pois laskuista, kilometrikustannus laskeekin vain n. 0,03 €, mutta tällöin aineiston edustavuus koko autokannasta laskee 79 prosenttiin. Näitä ongelmia yritettiin pienentää ja arvioida laskemalla aineistoon lineaarisesti interpoloidut osuuslukemat aiempien vuosiryhmien tietojen pohjalta, jolloin vuosiryhmän edustavuus nousi 90 prosenttiin. Tällöin ryhmän kilometrikustannus nousi 0,5456 euroon, mutta ryhmän pienestä koosta johtuen se nosti kokonaiskustannusta vain n. 0,01 eurolla 0,3243 euroon.

Laskuissa huomiotta jää jokaisen vuosiryhmän osalta vielä painottamatta n. 10 % osuus autoista, joilla ajetaan pääasiassa alle 7 500 km/vuosi. Yli 67 500 km vuodessa ajettavia autoja tilastoista löytyy vain alle 1 % (uusimpien autojen osuusarvio ei todennäköisesti ole todenmukainen) ja näiden osalta kilometrikustannus jää myös hyvin pieneksi, jolloin ne eivät vaikuttaisi lopulliseen arvioon muutenkaan. Vähän ajetuilla autoilla tilanne on kuitenkin lähes päinvastainen ja tätä arvioitiinkin lineaarisella interpoloinnin avulla. Interpolointi tehtiin keskimääräisten kilometrien ja vuosikustannusten pohjalta, joiden avulla

laskenta suoritettiin vastaavasti kuin aiemmin. Interpoloinnin ongelmaksi muodostui kuitenkin valittava kilometrimäärä itse interpolointia varten ja jäljempänä tehtävien laskentojen kannalta. Vaikka muutokset vuosikustannuksissa olivat vain muutamia satoja euroja keskimääräisten kilometrimäärien vaihdellessa 1 000 ja 7 000 välillä, niin jäljempänä laskettaviin kilometrikustannuksiin vaikutukset olivat varsin merkittävät. Tämän seurauksena alkuperäisestä autokanta-aineistosta selvitettiin ristiintaulukoimalla eri ryhmien mittarilukemien keskiarvot, jolloin pienimmälle kilometriryhmälle saatiin laskuja varten suuntaa antavaksi lukuarvoksi n. 5 500 km. Koska uusille ja vähän ajetuille autoille on laskennallisesti saatu varsin suuri osuusprosentti (44,2 %) nousisi lopullinen kilometrikustannus n. 0,4184 euroon. Mikäli uusille autoille käytetään vanhempien autojen kaltaista interpoloitua kilometriryhmäjakaumaa, nousee kilometrikustannus n. 0,3607 euroon eli muutos on tällöin vain n. 11 %.

Edellä tehtyjen laskujen tavoite oli etsiä yksityisautoilulle keskimääräinen kilometrikustannusarvio Suomen liikennekäytössä olevan autokannan pohjalta ja tämä on se hinta, jonka kuluttaja keskimäärin maksaa auton käytöstä veroineen ennen vähennyksiä. Tarkasteluajanjakso on yksi vuosi ja suurin osa autoiluun liittyvistä kustannuksista on huomioitu erilaisilla ajomäärillä ja eri-ikäisten autojen osalta. Vaikka tulokseen liittyy monia epävarmuuksia, on 0,3607 €/km kohtuullisen käyttökelpoinen arvio ottaen huomioon, että suurimalla osasta autoja ajetaan alle 20 000 km/vuosi, jolloin kilometrikustannus on myös suurempi. Esimerkiksi Tanskan liikenneministeriön vuoden 2013 arvio keskimääräisestä verollisesta kilometrikustannuksesta on n. 0,339 € sisältäen tärkeimmät kustannustekijät (Gössling et al. 2015). Uusien autojen mittarilukemadatan puutteiden vuoksi interpoloitu arvio antanee todenmukaisemman jakauman liikennesuoritteille, mikä myös oletettavasti parantaa painotetun keskiarvon tulosta. Lopulliseen tulokseen on syytä tehdä vielä elinkustannusindeksin mukainen korjaus, joka vuosien 2014–2018 väliseltä ajalta on 2,0 % (Tilastokeskus 2019a). Tällöin kilometrikustannus nousee n. **0,3679** euroon. Mikäli liikennekäytössä olevista autoista olisi kuntakohtaista tietoa saatavilla, voisi arvioita tarkentaa vastaamaan paremmin alueellista jakaumaa. Mittarilukemien osalta tämä olisi tosin ollut jo mahdollistakin. Verojen osuutta ei voitu koko autokannan osalta arvioida, sillä Leppikangas (2015) oli arvioinut vain 30 000 km/vuosi ajettavien autojen vero-osuudet, jolloin interpolointi muihin ryhmiin ei ole mahdollista.

Joukkoliikenteen käytön kustannus lasketaan tässä työssä matkakohtaisesti, sillä kustannus muuttuu lähinnä portaittain vyöhykerajojen mukaisesti, jolloin matkustajalle matkan pituus ei aivan suoraan korreloi matkasta maksettavaan hintaan. Lisäksi hintaan vaikuttaa käytetty lipputyyppi ja vaihtoajan sisällä tehtyjen matkojen määrä, jolloin pelkän

kertalipun käyttäminen ei ole soveltuva lähtökohta. Lipputulojen kohdistaminen eri kulkumuodoille on HSL:n (2018a) mukaan varsin haasteellista em. syistä johtuen, joten samaa matkalippujärjestelmää hyödyntävä joukkoliikennöintialue täytyy tarkastella yhtenä kokonaisuutena. Näin ollen yksinkertaisinta on verrata alueen joukkoliikenteen keräämiä lipputuloja nousumääriin, jotka molemmat tilastoidaan pääkaupunkiseudulla varsin tarkasti. Tässä työssä tarkastellaan vain pääkaupunkiseudun joukkoliikennettä, sillä se edustaa hyvin Liiterin toiminta-aluetta ja lisäksi koko Suomen laajuisten lipputulo- ja nousumäärien kerääminen saattaisi osoittautua varsin haasteelliseksi. Joukkoliikenteen ulkoiskustannukseksi olisi mahdollista myös laskea julkisen talouden maksaman tukiosuuden eli subventointikulut nousua kohden, mutta tällöin myös autoilun kustannuksissa pitäisi huomioida tarkemmin erilaiset julkiset tuet, jotta vertailuasetelma olisi tasapuolinen.

Helsingin seudun liikenne (HSL) keräsi vuonna 2017 lipputuloja 331,4 miljoona euroa ja nousuja tehtiin yhteensä 374,7 miljoonaa kertaa, jolloin asiakkaalle veroton hinta nousua kohden olisi 0,8844 € (HSL 2018b). Asiakkaan maksamassa hinnassa on lisäksi mukana arvonlisävero, joka henkilökuljetuksille on 10%. Näin ollen matkustaja maksaa jokaisesta nousustaan keskimäärin n. **0,9729 €**. Tietoa vaihdollisten yhdensuuntaisten tai yleensä- kään vaihtoajan sisällä tehtävien matkojen määrästä ei kuitenkaan löytynyt, joten näiden osuutta on vaikea arvioida.

Pyöräilyn verolliseksi käyttökustannukseksi Tanskan liikenneministeriö on laskenut 0,048 €/hkm, mikä vastannee hyvin myös Suomalaista hinta- ja verotaso (Gössling et al. 2015). Kun hinta korjataan vuoden 2018 hintoihin saadaan pyöräilyn kilometrikustannukseksi **0,0495 €**. Kävelyllä kuluja syntyy kenkien kulumisesta. Mikäli oletetaan kenkien kestävän n. 500–1 000 km ja verollisen hinnan olevan 50–100 €, niin hinta vaihtelisi karkeasti arvioiden 0,05–0,20 €/km välillä eli keskimäärin n. **0,125 €/hkm**.

4.3.2 Liikenteen päästömäärät

Tässä työssä liikenteen tuottamia päästömääriä arvioidaan kulkumuotokohtaisesti käyttämällä LIPASTOn (VTT 2019b) vuoden 2016 keskimääräisiä yksikköpäästökertoimia (g/hkm), jotka on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Henkilöautojen ja bussien yksikköpäästökertoimet (g/hkm) (VTT 2019b; Soimakallio et al. 2017)

	CO	HC	NO _x	PM _{2,5} (pakok.)	PM _{2,5} (katup.)	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	CO ₂ ekv
henkilöauto [g/hkm]	0,37	0,031	0,34	0,012	0,0098	0,0015	0,0046	0,00069	155	157
bussi [g/hkm]	0,063	0,0093	0,29	0,006	0,0067	0,00027	0,0018	0,00017	52	53

Henkilöautojen osalta käytetään taajamakertoimia ja bussien kaupunkibussikertoimia. Metro, lähi- ja kaukojuna oletetaan tässä työssä päästöttömiksi eli energian eikä polttoaineiden tuotanto- ja siirtopäästöjä ei huomioida. Moottoripyörien, mopojen ja mopoautojen pakokaasupäästökertoimia ei niiden vähäisten suoritteiden vuoksi tässä yhteydessä ole esitetty, mutta nekin ovat saatavilla LIPASTOn verkkosivuilta kuten myös paremmin maantieajopäästöjen tarkasteluun soveltuvat kertoimet. Lukuarvoja käytettäessä on huomattava, että ne pohjautuvat autokantojen keskimääräisiin pakokaasupäästöihin, jotka riippuvat tarkastellusta kannasta eivätkä ne sellaisenaan sovi esimerkiksi pidemmän aikavälin tarkasteluun autokannan muuttuessa.

Soimakallio et al. (2017) arvioivat vuoden 2015 Suomen katupölyn primääristen $PM_{2.5}$ -kokonaispäästöjen määräksi n. 1100 tonnia, joka vastannee myös nykytilannetta sillä liikennesuoritteet ovat laskeneet LIPASTOn (VTT 2019b) mukaan 2015–2018 välisenä aikana vain n. 1,5 %. Katupölypäästöjen keskimääräiset määrät henkilökilometriä kohden on laskettu Karvosenoja et al. (2008) arviosta, jossa kevyiden ajoneuvojen (mopot, moottoripyörät, henkilö- ja pakettiautot) ei-pakokaasuperäiset $PM_{2.5}$ -päästöt ovat n. 10 % raskaiden ajoneuvojen vastaavista päästöistä. Tämä suhteutettiin vuoden 2018 liikennesuoriteosuuksien sekä kulkumuotokohtaisen kuormitusasteen pohjalta katupölyn $PM_{2.5}$ -kokonaispäästömääriin, jolloin katupölylle saatiin karkeasti arvioidut yksikköpäästökertoimet henkilökilometriä kohden. Bussin katupölyn päästömäärät vastaavat siis myös muiden raskaiden ajoneuvojen päästömääriä ja vastaavasti henkilöautojen kerrointa voi käyttää muiden kevyiden ajoneuvojen päästöjen arviointiin.

Kotiin toimitettavien toimitusten osalta Postin Group Oyj:n (2017, s. 78) ilmoittamaa keskimääräinen päästömäärää pakettia kohden on n. 700 gCO₂, joka vastaan n. 4,5 hkm henkilöautolla. Kyseessä on oletettavasti paketin koko kuljetusmatkan keskimääräinen päästömäärä, joten ainoastaan jakelun osuuden laskemiseksi ja vertailukelpoisuuden takaamiseksi vaadittaisiin enemmän tietoaineistoa. Kun arvioidaan paikallisesti ja hyödykkeiden kuljettamisesta välittömästi muodostuvia päästöjä, ei toimitettavan paketin koko toimitusketjun päästöt ole tässä yhteydessä täysin kelvollinen vertailukohta. Näin ollen paketin toimituksen päästömäärä on todennäköisesti yliarvioitu.

4.3.3 Liikenteen päästöjen kustannukset

Liikenneviraston julkaisussa (Gynther et al. 2012) arvioidaan vuoden 2007 tieliikenteen $PM_{2.5}$ -primääripäästöjen aiheuttaneen terveyshaittoina pääkaupunkiseudulla ja vuoden 2010 hintatasolla n. 233 417 euron kustannukset päästötonnia kohden. Arvio sisältää pienhiukkasten osalta niin pakokaasu- kuin katupölypäästöt, joten se soveltuu kohtuulli-

sen hyvin tämän työn laskentoihin. Pakokaasupäästöjen osalta vuotuiset kokonaispäästöt ovat 2007–2018 välisenä aikana LIPASTOn mukaan pienentyneet 2121 tonnista 811 tonniin, joten laskua on tullut n. 62 %. Koko maan liikennesuoritteet ovat pysyneet tällä aikavälillä jokseenkin samana, joten katupölyn kokonaismäärän voidaan olettaa pysyneen jokseenkin samana. Laskeneet päästömäärät tietysti vähentävät haittoja, mutta laskennoissa tavallisesti käytetty lineaarinen annos-vastefunktio ilman kynnysarvoja tuottaa päästömäärää kohden yhtä suuren haitan kokonaismäärien vaihteluista riippumatta, jolloin samaa arvoa voidaan hyödyntää indeksikorjattuna myös nykypäivän kuin tulevaisuudenkin haittojen arvioimiseen.

Liikenneviraston (Gynther et al. 2012) arvioimat terveysvaikutuksien yksikkökustannukset alueittain on esitetty taulukossa 6. NO_x -päästöjen kustannuksiin on sisällytetty myös O_3 :n terveyskustannukset (n. 22 €/t NO_x), jonka osuus on laskettu kokonaiskustannuksien ja päästömäärien pohjalta. Julkaisussa oli määritetty myös arvio SO_2 -päästöjen terveysvaikutuksista suurien kaupunkien alueilla (1 200 000 €/vuosi), mutta yksikkökustannusta sille ei ollut määritetty. Nykyisin tieliikenteessä käytettävien polttoaineiden rikkipitoisuus on niin pieni, että päästöt henkilökilometriä kohden ovatkin LIPASTOn mukaan hyvin vähäiset (0,00069 g), joten myös terveyskustannus suoritetta kohden olisi vastaavasti varsin marginaalinen. Muille päästöryhmille ei Suomessa ole tiettävästi tehty kustannusarvioita.

Taulukko 6. *Tieliikenteen $\text{PM}_{2.5}$ - ja NO_x -päästöjen terveysvaikutuksien yksikkökustannukset (€/t) alueittain vuoden 2010 hintatasolla (Gynther et al. 2012, taulukko 60)*

	Primääri $\text{PM}_{2.5}$ [€/t]	NO_x [€/t]
Pääkaupunkiseutu	233 417	1 658
Suuret kaupungit (Tampere, Turku, Oulu)	197 555	719
Keskisuuret kaupungit (asukasluku 50 000–100 000)	53 460	719
Pienet kaupungit (asukasluku 10 000–50 000)	28 319	148
Muut kunnat	7 974	148

Taulukkojen 5 ja 6 tietojen pohjalta voidaan laskea karkea kustannusarvio henkilökilometriä kohden $\text{PM}_{2.5}$ - ja NO_x -päästöjen terveysvaikutuksien osalta alueittain (Taulukko 7). Kuten kertoimista nähdään, ovat kustannukset henkilökilometriä kohden varsin vähäiset. Hinnat ovat vuoden 2010 hintatasossa, mutta kustannusten ollessa näin vähäisiä ei elinkustannusindeksikorjauksella ole juuri vaikutusta. Muut liikkumiseen käytetyt kulkuuodot ovat käytön aikaisten päästöjen osalta lähes tai täysin päästöttömiä, jolloin haittakustannuksia ei juurikaan muodostu.

Lähinnä katupölyn osalta laskelmista puuttuvat suurempien hiukkasten terveysvaikutukset, joiden osuus olisi Lehtomäki et al. (2015) mukaan n. 17 % PM_{10} -kokonaispäästöjen (sisältäen siis myös $\text{PM}_{2.5}$ -päästöt) kokonaistautitaakasta. Katupölyn kohdalla tätä arviota ei voida suoraan käyttää, sillä tarvittaisiin tarkempaa tietoa katupölyn hiukkasten

koko- ja kemiallisesta jakaumasta. Osuuden ja edellä laskettujen yksikkökertoimien ollessa myös varsin alhaisia, näiden kustannusten vaikutukset kokonaiskustannuksiin olisivat todennäköisesti varsin marginaalisia.

Taulukko 7. Taajama-ajossa muodostuvien PM_{2.5}- ja NO_x-liikennepäästöjen terveysvaikutuksien yksikkökustannukset (€/hkm) alue- ja kulkumuotokohtaisesti.

	Primääri PM _{2.5} [€/hkm]		NO _x [€/hkm]	
	henkilöauto	bussi	henkilöauto	bussi
Pääkaupunkiseutu	0,00508	0,00296	0,00056	0,00048
Suuret kaupungit (Tampere, Turku, Oulu)	0,00430	0,00251	0,00024	0,00021
Keskisuuret kaupungit (asukasluku 50 000-100 000)	0,00116	0,00068	0,00024	0,00021
Pienet kaupungit (asukasluku 10 000-50 000)	0,00062	0,00036	0,00005	0,00004
Muut kunnat	0,00017	0,00010	0,00005	0,00004

Kuten luvussa 4.1.3 on käyty läpi, täytyy CO₂:n kustannukset laskea ilmastonmuutoksen vaikutuksien avulla, mikä on erittäin kompleksinen kokonaisuus. Tästä syystä myös kustannusarviot CO₂-tonnia kohden ovat hyvin vaihtelevia. Vastikään julkaistun tutkimuskatsauksen mukaan vertaisarvioitujen tutkimuksien SCC:n keskiarvo on dollarin nykykurssin (1 \$ = 0,89 €) mukaan n. 27 €/tCO₂ 3% diskonttauskorolla. Kaikkien tutkimusten keskiarvo oli puolestaan 48 €/tCO₂ laskentakoron ollessa keskimäärin 0,019 % (keskihajonta jopa 458 €/tCO₂), mutta SCC:n suuruuteen vaikutti vahvasti tutkimuksen julkaisu-vuosi, joten uusimmissa julkaisuissa SCC on keskimäärin korkeampi. (Wang et al. 2019). Tol (2012) puolestaan on saanut keskiarvohinnaksi 49 €/tCO₂ (mediaani 32 €/tCO₂) 232 julkaistun arvion pohjalta ja tässä yhteydessä on esitetty myös laskentakoron vaikutus, mikä keskiarvohinnoilla vaihtelee 3 % koron viidestä eurosta 0 % korkokannan 76 euroon. Liikenneviraston (Gynther et al. 2012, s. 74) julkaisu esittää laskennoissa käytettäväksi arviota 37 €/tCO₂. Koska arvioissa on merkittäviä eroja, tehdään tässä työssä arviot CO₂-ekvivalenttien päästömäärien pohjalta kolmella eri kustannusarvolla: alarajana 27 €/tCO₂, keskihintana 37 €/tCO₂ ja ylärajana 49 €/tCO₂.

Päästöjen kustannuksien osalta on muistettava, että ne kohdistuvat koko kansantalouteen eli käytännössä liikkujat maksavat niistä välillisesti mm. verojen kautta. Näin ollen näitä kustannuksia katetaan jo osittain esim. polttoaineiden, matkalippujen ja muista liikemiseen liittyviä veroja maksamalla, mutta arvio näiden verojen riittävyydestä kaikkien liikenteen kulujen kattamiseen vaatisi aivan erillisen arvionsa. Joka tapauksessa päästöjen kustannukset ovat nk. ulkoisia kustannuksia, joita muodostuu hyödykkeen käyttämisestä.

4.3.4 Onnettomuuskustannukset

Onnettomuuskustannuksien yksikkökertoimien laskennassa keskeiset tietolähteet olivat Liikenneviraston tutkimus tieliikenteen vakavista henkilövahingoista (Peltola et al. 2018) sekä HLT:n (Liikennevirasto 2018a) kokonaisliikennesuoritemäärät. Tässä yhteydessä

käsitellään vain onnettomuuksia, joissa osallisena on ollut henkilöauto, pyöräilijä tai kävelijä. Peltola et al. ovat koonneet onnettomuuskustannukset osallislajeittain sekä näiden suhteelliset osuudet onnettomuuksien vakavuuden mukaan virallisiin tilastoihin kerättyjen tietojen pohjalta. Julkaisussa huomautetaan, että tilastojen ulkopuolelle jää vielä paljon pyöräilijöiden yksittäisonnettomuuksista, joissa syntyy sekä vakavia että lieviä vammoja. Virallisen tilaston ulkopuolelle jääneistä vakavista loukkaantumisista arvioidaan syntyvän vuosittain noin 330 miljoonan euron kustannukset, joista tehtiin tähän työhön myös arvio julkaisussa esitetyn kulkumuotojakauman (kuva 21, s. 49) pohjalta. Tästä huolimatta lieviä onnettomuuksia jää edelleen kustannusarvion ulkopuolelle. Karkeat arviot onnettomuuskustannuksista kulkumuodoittain henkilökilometriä kohden vuosien 2014–2015 onnettomuuksien perusteella on esitetty taulukossa 8. Joukkoliikenteessä tapahtuvien onnettomuuskustannuksien ollessa varsin vähäiset ja liikennesuoritteiden epävarmuudet tekevät laskennasta tarpeettoman.

Taulukko 8. Onnettomuuskustannukset henkilökilometriä (*M* = miljoona) kohden kulkumuodoittain (Peltola et al. 2018, taulukot 5 & 7, kuva 21; Liikennevirasto 2018a).

		Henkilöauto	Pyöräily	Jalankulku
Onnettomuuskustannukset (virallinen tilasto)	M€/vuosi	690	153	149
Osuus tilaston ulkopuolisista onnettomuuksista	%	13 %	55 %	9 %
Onnettomuuskustannukset (tilaston ulkopuoliset)	M€/vuosi	42,9	181,5	29,7
Liikennesuorite	Mhkm/vuosi	58 040	1 342	1 796
Onnettomuuskustannus (virallisen tilaston perusteella)	€/hkm	0,0119	0,1140	0,0830
Onnettomuuskustannus (tilaston ulkopuolisten perusteella)	€/hkm	0,0007	0,1352	0,0165
Onnettomuuskustannukset yhteensä	€/hkm	0,0126	0,2493	0,0995

Pyöräilijöille sattuneiden vakavien ja tilaston ulkopuolisten onnettomuuksien kustannukset ovat jopa suuremmat, mitä virallisiin tilastoihin on kirjattu, mikä tällöin yli kaksinkertaistaa pyöräilyn onnettomuuskustannuksien €/hkm-arvion. Julkaisussa vakavuuden mukaan eritellyistä kustannustiedoista nähdään myös, että kuolemien osuus on keskimäärin n. 53 % kokonaiskustannuksista, jolloin pelkkien kuolemien tarkasteleminen aliarvioi liikenneonnettomuuksien kustannuksia, minkä myös Aertsens et al. (2010) ovat Belgiassa havainneet. Kulkumuotokohtaiset kustannusosuudet on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Virallisen tilaston mukaiset liikenneonnettomuuksien kustannukset (M€ = miljoonaa euroa) Suomessa 2014–2015 ja niiden osuudet onnettomuuksien vakavuuden mukaan. (Peltola et al. 2018, taulukko 7)

	Kustannukset	Osuus			Kustannukset			Vakavien & lievien onnettomuuksien osuus
	Yhteensä M€	Kuolema %	Vakava %	Lievä %	Kuolemat M€	Vakavat M€	Lievät M€	
Jalankulku	149	64,1 %	26,4 %	9,5 %	95,5	39,3	14,2	35,9 %
Pyöräily	153	53,4 %	29,1 %	17,5 %	81,7	44,5	26,8	46,6 %
Henkilöauto	690	56,1 %	27,3 %	16,6 %	387,1	188,4	114,5	43,9 %

Myös onnettomuuskustannuksien osalta on muistettava, että pyöräilijöille ja kävelijöille tapahtuneet tapaturmat kohdistuvat pääasiassa koko kansantalouteen. Henkilöautojen

omistajat kattavat suuren osan näistä kustannuksista liikennevakuutuksen muodossa, joten ne suurelta osin sisältyvät jo autoilijan liikkumiskustannuksiin. Yhteiskunnan taakaksi jäävät lähinnä menetetyt elinvuodet sekä vähemmissä määrin onnettomuuksista mahdollisesti aiheutuvat ruuhkat sekä viranomaiskulut. Näitä kustannuksia katetaan tietysti myös monien verojen kautta.

4.3.5 Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt

Aktiivisten liikkumisen hyötyjen arvottaminen liikennesuoritetta kohden on lähtökohtaisesti varsin kyseenalaista, sillä yksittäisten matkojen oletetut terveyshyödyt ovat varsin marginaaliset, sillä ne kohdistuvat yksittäiseen henkilöön, jonka liikuntatottumuksista, terveydentilasta, iästä, yms. ei ole tarkempaa tietoa. Tästä syystä terveyshyötyjä on tarkasteltava päästöjen tapaan laajempänä kokonaisuutena väestön tai sen osakokonaisuuden tasolla. Tällöin verrataan keskimääräisiä suoritemääriä ja niistä syntyviä terveyshyötyjä, jonka pohjalta karkea hyötylaskelma kilometriä kohden on tehtävissä.

Tässä työssä terveyshyödyt laskettiin HEAT:ä hyödyntämällä yhden vuoden ajalta 20–74 vuotiaille kävelylle ja pyöräilylle erikseen. Suorite- ja keskinopeusarvioina käytettiin vuoden 2016 henkilöliikennetutkimuksen (HLT) (Liikennevirasto 2018a) keskimääräisiä arvoja. Ikäryhmän väestön kokonaan käytettiin Tilastokeskuksen (2019c) vuoden 2016 arvoa, joka vastaa HLT:n tarkasteluvuotta. Keskimääräinen kokonaiskuolleisuus laskettiin Tilastokeskuksen vuosien 2008–2017 tietojen keskiarvona pienten vaihtelujen tasaukseksi. VSL:nä käytettiin puolestaan Savolahti et al. (2018) käyttämää arvioita, joka on peräisin NewExt-tutkimuksesta ja perustuu maksuhalukkuuteen. Tämä VSL-arvio on lähellä myös Kasnatscheew et al. (2016) ilmoittamaa Suomen onnettomuuskustannusten hinta-arviota, johon liittyviä tietoja on ilmeisesti saatu silloiselta Liikenteen turvallisuusvirasto Trafilta. Kaikki lukuarvot ja tulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. HEAT-laskennassa käytetyt lukuarvot (*M = miljoona*) lähteineen sekä tulokset (Liikennevirasto 2018a; Tilastokeskus 2019c; Savolahti et al. 2018).

	Yksikkö	Kävely	Pyöräily	Lähde
Suorite	hkm/vrk	0,96	0,72	HLT, s. 59
Väestö 2016 (20-74v)	henkeä	3 810	614	Tilastokeskus
Keskinopeus	km/h	3,87	9,75	laskettu (suorite/kokonaismatka-aika): HLT, s. 59
VSL	€/kuolema	2 650	000	Savolahti et al. (v. 2017 hintataso)
Kuolleisuus (kaikki syyt, 20-74v)	henk./kuolema		208	laskettu keskiarvo vuosilta 2008-2017: Tilastokeskus
Terveyshyödyt	M€/vuosi	1 490	632	HEAT
Suorite yht. (20-74v)	Mhkm/vuosi	1 335	1 001	laskettu (suorite x väestö x 365d)
Terveyshyödyt 2016	€/hkm	1,1159	0,6311	

Lasketut kokonaisterveyshyödyt on siis laskettu aikuisväestölle, sillä lasten osalta tutkimustieto liikunnan vaikutuksesta kuolleisuuteen on vielä vaillinaista. Aivan vanhimman väestön osalta liikunnan hyöty on kyllä todennettu, mutta laskennassa saman VSL-arvon käyttö yliarvio tämän ikäryhmän hyötyjä elinajanodotteen ollessa alle 20 vuotta. Tästä

syystä aivan vanhimman ikäryhmän terveyshyötyjen arviointi on syytä laskea erikseen alemmalla VSL-arvolla. Keskimääräistä euroa per henkilökilometriarvioita lienee kuitenkin mahdollista käyttää suuntaa-antavana arvioina myös alle 20-vuotiaille ja yli 74-vuotiaille, sillä keskimääräisen suoritteen laskennassa tutkittu myös 6–19 sekä yli 75-vuotiaiden liikkumista. Lasten pidempi elinajanodote kompensoi oletettuja liikunnan suhteellisesti vähäisempiä hyötyjä ja vastaavasti iäkkäillä liikunnan kasvanut suhteellinen hyöty kompensoi lyhyempää elinikää. Kuten luvussa 4.2.5 on mainittukin, HEAT laskee terveyshyödyt perustuen ainoastaan kuolleisuuteen, jolloin mm. vähentyneiden sairauspoissaolojen ja elämänlaadun paraneminen jää arvottamatta. Tätäkin puutetta voi kiertää nostamalla VSL:n hinta-arviota sisältämään myös muita hyötyjä, mutta tietysti nämä pitäisi tutkimustiedon pohjalta suhteuttaa ensin kuolemien määrään, jotta realistisen arvio olisi mahdollista laskea.

Laskentaa voisi mahdollisesti vielä kuitenkin tarkentaa sekä syventää jakamalla väestö ikäryhmiin ja hyödyntämällä HLT:n ikäryhmäkohtaisia matkasuoritearvioita, jolloin laskentaa voisi varioida käyttämällä VSL:n tilalla VOLY-arvioita. Tällöin nuoremmat ikäluokat saisivat suuremman painoarvon, mikä vastaisi paremmin myös arkikäsitystä. Tätä varten olisi tosin hyvä saada myös tarkemmat arviot ikäryhmien päivittäisistä kokonaismatka-ajoista, joita HLT-julkaisussa ei valmiiksi ole esitetty. Tällöin aktiivisen liikkumisen liikunta-aika-arviot saadaan laskentaa varten myös vastaamaan paremmin todellisuutta.

Myös terveyshyötyjen osalta on muistettava, että ne pääasiassa kohdistuvat koko kansantalouteen vähentyneiden sairauksien, kuolemien ja tätä kautta alentuneiden terveydenhuollon sekä työnantajien kustannuksien myötä. Tietysti lisääntynyt liikunta hyödyttää suoraan liikkujaa itseään parantuneen hyvinvoinnin myötä, mutta tämän hyödyn rahallista arvoa ei käytännössä ole mahdollista laskea etenäkään yksittäisten matkojen osalta.

5. LIITERI-PALVELUN VAIKUTUKSET

Tutkimusjakso toteutettiin 24.1.–30.4.2019, jolloin kyselykutsu lähetettiin kaikille vuokrauksen tehneille asiakkaille. Kutsujen kokonaismäärä oli 75, joista 11 vastasi kyselyyn (vastausprosentti n. 15). Coreorient Oy järjesti lisäksi tutkimusjakson loppupuolella ryhmähaastattelun neljälle henkilölle, jotka myös vastasivat kyselyyn. Heistä yksi ei ollut käyttänyt Liiteriä aikaisemmin, joten hänen osaltaan kysely vastasi kaikkien matkojen osalta SP-kyselyä.

Vastauksien vähyydestä johtuen analyysissä käytettiin kaikkia vastauksia kuitenkin tasaveroisina, sillä tutkimuksen luotettavuustaso on kokonaisuudessaankin varsin heikko. 15 vastausta kokonaisotoskoosta 79 vastaa 95 % luottamustasolla n. 23 % virhemarginaalia ja tämä otos vastaa vain reilun kolmen kuukauden asiakaskäyntejä. Vähäistä vastaajajoukkoa vielä pienempiin ryhmiin erittelemällä, edes suuntaa antavien arvioiden tekeminen olisi käytännössä mahdotonta. Heikosta luotettavuustasosta johtuen tarkempi tilastollinen analyysi ei ollut tarkoituksenmukaista, joten asiointien tarkastelussa tyydytään tekemään yksinkertaisia arvioita lähinnä summien sekä keskiarvojen pohjalta. Asiointilla tarkoitetaan tässä työssä yhtä tai kahta edestakaista matkaa riippuen, tapahtuuko hankinta ostoksena vai vuokraamalla.

5.1 Kyselylomakkeen laadinta

Kyselyn laadinnassa keskeinen periaate oli rakentaa kysely tutkimusta varten tarvittavien tietojen kautta. Ensimmäisessä vaiheessa määritettiin keskeiset tekijät eli vertailtavat matkat ja se, miten niille kohdistetaan liikennesuoritteita sekä päästöjä eri tapauksissa. Matkojen osalta täytyi tietysti myös määrittää pituus, mutta epävarmuus vastaajien arviointitarkkuudesta johti siihen, että matkan pituus selvitettiin kahdella tavalla. Näin matkojen pituuksia voitiin tarkistaa myös jälkikäteen ja muodostaa arvio virheen suuruudesta.

Koska tutkimuksessa haluttiin selvittää, muuttaako Liiteri-palvelu liikennesuoritetta ja miten paljon, kyselyssä täytyi selvittää SP-tutkimuksen (Stated Preference) keinoin vaihtoehdot Liiteri-palvelun käyttämisen sijaan. Jotta vertailu olisi mahdollista, kyselystä löytyy myös RP-osio (Revealed Preference), jossa kysytään suoraan, kuinka pitkän matkan ja millä kulkutavoilla asiakas teki sekä noutaakseen että palauttaakseen vuokratun tuotteen. RP-kysely siis kartoittaa, mitä valintoja vastaaja on oikeasti tehnyt. Näin ollen kysely on yhdistetty SP- ja RP-tutkimus.

Menetelmänä SP-tutkimuksella on omat heikkoutensa, sillä ihmiset eivät välttämättä tee niin kuin sanovat tai ajattelevat, mutta se on myös jokseenkin ainut tapa saada tietoa valinnoista tilanteissa, jotka saattaisivat tapahtua. Menetelmän avulla voidaan myös karottaa asenteita ja mieltymyksiä esimerkiksi esittämällä oletettuja tilanteita tai vaihtoehtoja, joiden välillä kyselyyn vastaajan on tehtävä valintansa. Niin valinnat kuin asenteet pohjautuvat juuri näihin mieltymyksiin, jotka Fujii & Garling (2003) mukaan jakautuvat sattumanvaraisiin ja ydinmieltymyksiin. Ydinmieltymyksien oletetaan olevan tilanteesta tai aikajaksosta riippumattomia, mutta sattumanvaraiset riippuvat mm. rajauksesta, reaktiosta, rajoituksista. Yleensä SP-tutkimuksessa yritetään etsiä juuri ydinmieltymyksiä eliminoimalla sattumanvaraisuuksia tuloksien reliabiliteetin ja validiteetin parantamiseksi. Yhdeksi ongelmaksi kuitenkin muodostuu ihmismielen ominaisuudet, kun tottumukset ja aikeet impulssien ohella vaikuttavat osaltaan päätöksentekoon. (Fujii & Garling 2003) Tässäkin tutkimuksessa kyselyn saatteesta jätettiin mainitsematta tieto päästöjen laskennasta, sillä se voisi ohjata valitsemaan vähäpäästöisempiä kulkumuotoja, koska monet ovat jo tiedostaneet ilmastonmuutoksen ongelmat.

Toisessa vaiheessa määritettiin, mitä täydentävää tietoa matkojen ohella tarvitaan, jotta voitaisiin tehdä tarkempaa analyysiä matkustuskäyttäytymisestä. Kyselyyn sisällytettiin lähinnä profilointia ja jossain määrin oheistiedonkeruuta varten erityyppisiä osioita. Myös Liiterille suuntautuvien asiointimatkojen sujuvuudesta kerättiin tietoa ja sen perusteella oli tarkoitus arvioida, onko sujuvuudella vaikutusta kuviteltujen matkojen kulkutapavalintaan. Samalla saataisiin hieman tietoa, miten hyvin Liiteri on saavutettavissa. Vastausten vähäisyydestä johtuen nämä osiot jäivät lopulta lähes tarpeettomiksi, joten pienten asiakasryhmien tarkastelussa näiden poisjättämistä kannattaa vakavasti harkita kyselyn pituuden minimoimiseksi ja vastausmäärien maksimoiseksi. Tietoja on suositeltavaa hankkia myös muista tietolähteistä, jolloin kyselystä voidaan tehdä mahdollisimman nopeasti täytettävä, ja vastaajajoukosta on ehkä mahdollista saada kyselyyn verrattuna jopa kattavampi kuvaus esim. otoksen edustavuuden arviointiin.

Ennen kuin kyselyä lähetettiin palvelun asiakkaille vastattavaksi, järjestettiin Liikenteen tutkimuskeskus Vernen henkilöstölle koekysely, jotta lomakkeesta ja sen kysymysasettelusta saataisiin palautetta. Henkilöstön joukossa oli mm. kyselytutkimuksia tehneitä ja muita liikennealan asiantuntijoita, joilta saatiin varsin nopeasti tarkkoja sekä rakentavia kommentteja. Tämä oli myös tärkein syy toteuttaa koekysely asiantuntijoilla, sillä sitä olisi ollut haastava järjestää esimerkiksi Liiterin asiakaskunnan tai jonkin toisen vastaavan palvelun asiakkaille, jolloin palautteen laatu olisi myös voinut olla varsin vaihtelevaa. Kommenttien pohjalta lomakkeeseen tehtiin lähinnä pieniä muutoksia kysymysten aseteluun ja vastaustapoihin, mutta rakenne ja idea pysyivät kuitenkin alkuperäisenä. Tosin

vielä hieman ennen tutkimusjakson alkua kyselystä poistettiin matkaosuuksien yksityiskohtainen kysely, jotta kyselystä saataisiin miellyttävämpi ja nopeammin täytettävä.

Alkuperäinen suunnitelma oli toteuttaa kysely kahdessa osassa, mutta tästä suunnitelmasta luovuttiin lähinnä teknisten tekijöiden vuoksi. Kaksiosaisessa kyselyssä olisi myös ollut riskinä se, että vastauksia olisi saatu vain yhteen osaan, jolloin nämä vastaukset olisivat olleet vähemmän käyttökelpoisia päätutkimuskysymyksen kannalta. Lopulta yhteenkootun kyselyn täyttämiseksi lähetettiin tutkimusjakson aikana vuorokauden sisällä Liiteristä vuokratun tuotteen palautuksen jälkeen kyselykutsu hyperlinkkeineen sähköpostitse. Kysely oli täytettävissä verkkoselainpohjaisessa Google Forms -palvelussa, joka myös taulukoi vastaukset automaattisesti. Kysely on nähtävissä liitteessä A, jonka osalta on huomioitava, että kysely ohjautui eri kysymyksiin monivalinnoissa tehtävien vastausten mukaan (siirtymät näkyvissä tulostetussa lomakkeessa), joten aivan kaikkiin kysymyksiin ei kukaan vastaajista pystynyt vastamaan. Nämä ja muutkin kursiivilla tulosteissa olevat tekstit eivät siis olleet vastaajien nähtävillä kyselyä tehtäessä vaan Google Forms lisää ne näkyviin vain tulostettaessa.

Tutkimuksen perusjoukko käsittää kaikki vuokrauksia tehneet asiakkaat, mutta kyselyn luonteen vuoksi tietojen luotettavuutta voi pitää kyseenalaisena, mikäli kysely lähettäisiin täytettäväksi asiakkaalle, joiden asiointiajankohdista voi olla kulunut jo kauankin aikaa. Tästä syystä kysely kohdistettiin tarkastelujaksolla vuokrauksen tehneille, jotta heillä olisi hyvät muistikuvat siitä, miten he olivat tehneet matkansa Liiterille. Tämä toimintatapa tosin ei muodostanut edustavaa otosta etenkin, kun kyselyjakso oli lyhyt ja vastausmäärä tavoiteltua vähäisempi. Tutkimusjakso jäi alun perin suunniteltua lyhyemmäksi opinnäytetyön rajallisen aikataulun takia ja lisäksi se sijoittui pääosin viileälle vuodenaikalle, vaikka vastauksia olisi hyvä saada koko kalenterivuoden ajalta. Tällöin normaalilla kausivaihtelulla ei ollut mahdollisuutta tasata kulkutapavalintojen eri vuodenaikojen mukaisia eroavaisuuksia. Esimerkiksi pyöräily on Suomessa talvisin merkittävästi vähäisempää kesään verrattuna (Liikennevirasto 2018a, s. 99).

5.2 Yleisiä havaintoja vastaajista sekä Liiterillä asioimisesta

Vaikka kyselyssä oli varsin vähän pakollisia kysymyksiä etenkin taustatieto-osiossa, olivat lähes kaikki vastauksen jättäneet vastanneet myös melkein kaikkiin kysymyksiin. Kysymys kotitalouden tuloista oli kuitenkin kohta, johon jätettiin vähiten vastauksia. Vastaajien keski-ikä on lähes 36 vuotta ja kaksi vastaajaa kolmesta on kokoajatöitä tekeviä. Asumismuotona lähes kaikilla on kerrostalo ja taloudessa asuu keskimäärin 2,5 henkeä. Noin puolet talouksista ei omista yhtään autoa ja autollisista talouksista 70 prosentilla oli yksi auto ja 30 prosentilla kaksi autoa. Kaikilla autollisilla vastaajilla oli ajokortti sekä

melkein kaikilla myös auto käytettävissään aina tai lähes aina. Kaikista vastaajista 80 % omistaa ajokortin ja yli 90 % myös joukkoliikenteen matkakortin. Jälkimmäisistä hieman yli puolella on voimassa oleva kausilippu.

Vuokrauksista 2/3 ilmoitettiin tehdyksi klo 9–15 välisenä aikana ja yleisin viikonpäivä oli lauantai (64 % vuokrauksista). Kaikki vuokrauksia tehneet vuokrasivat ainakin ison tai keskikokoisen sähkötyökalun ja -laitteen. Hieman yli puolet vuokrauksista oli tehty Teurastamon Liiteriltä ja noin joka neljäs Kivistöltä. Palautuksien osalta 43 % palautettiin samana päivänä ja vastaava määrä myös seuraavana päivänä. Näin ollen lauantai oli myös suosituin palautuspäivä (43 %) sunnuntain ollessa toiseksi suosituin (29 %). Palautuksista hieman yli puolet tehtiin ilmeisesti em. syistä johtuen iltapäivisin ja iltaisin (klo 15–21) ja loput ennen kolmea. Kyselyssä pyydettiin myös arvioimaan Liiterille suuntautuvien asiointimatkojen sujuvuutta asteikolla 1–5 (1 = Ei lainkaan sujuva, 5 = Erittäin sujuva) ja vastausten perusteella kaikki matkat oli koettu vähintään kolmosen arvoiseksi. Arvosanan 3 antoi vuokrauksen jälkeiselle matkalle vain noin joka neljäs ja palautusmatkalle takaisin liiterille joka viides, joten yli 70 prosentille matkoista annettiin sujuvuuden arvosanaksi 4 tai 5. Lähes kaikilla vastaajilla annettu arvosana on myös molemmille matkoille sama eikä ajankohdalla vaikuta olevan huomattavaa vaikutusta arvosanaan.

Vaihtoehtoisista hankinnoista huomiota herättänyt seikka liittyy vuokrattujen tuotteiden kokoon. Isokokoisia sähkötyökaluja ja -laitteita Liiteristä vuokranneista 57 % ei hankkisi tuotetta käyttöön, jos Liiteriä ei olisi saatavilla ja tämän ryhmän vastaajat olivat myös ainoita, jotka vastasivat näin. Pelkästään pieniä tai keskikokoisia sähkötyökaluja tai -laitteita vuokranneista kolmasosa ostaisi laitteen omaksi ja loput vuokraisivat tai lainaisivat jostain muualta. Vuokrauksen tai lainauksen vaihtoehtoiseksi hankintatavakseen ilmoittaneista 63 % ilmoitti noutopaikaksi lähikauppansa, joista kaikista löytyy myös pakettiautomaatti. Oletettavasti he haluaisivat saada vuokratun tuotteen noudettavaksi ja palautettavaksi pakettiautomaattien välityksellä, sillä tuotteiden vuokrausmahdollisuus lähikaupassa voisi olettaa olevan Liiteriä houkuttelevampi vaihtoehto, mikäli sellainen mahdollisuus olisi olemassa. Herää myös kysymys, olisiko tällaisille palvelulle jopa riittävästi kysyntää, sillä monetkaan eivät välttämättä tarvitse palvelun olevan aina tai heti saatavilla. Toisaalta kyse voi myös olla siitä, etteivät vastaajat mieti asiaa tarkemmin vaan lisäävät noutopaikaksi ensimmäisen mieleen tulevan, jolloin kyseessä olisi tavallinen vastausharha.

5.3 Vaikutukset liikennesuoritteisiin

Vastauksista laskettiin todelliset liikennesuoritteet kahdelta edestakaiselta matkalta sekä vastaajien oletama ja hankintatavasta riippuen yksi tai kaksi edestakaista matkaa vaihtoehtoista hankintaa kohden. Näiden pohjalta laskettiin oletetut liikennesuoritteiden muutokset, mikäli Liiteri-palvelua ei olisi ollut saatavilla.

Matkojen yhdensuuntaiset pituudet tarkistettiin virhemarginaalin arvioimiseksi 0,1 kilometrin tarkkuudella Google Mapsia hyödyntäen vastaajien ilmoittamien osoitteiden perusteella, mikäli se oli annettu (87% vastauksista). Liiterille tehtyjen matkojen tiedot eroavaisuuksineen on esitetty taulukossa 11 ja vaihtoehtoïsille matkoille vastaavat tiedot taulukossa 12.

Taulukko 11. Liiterille tehtyjen matkojen arvioidut sekä tarkistettut tiedot eroavaisuuksineen.

	Tarkistettu pituus km	Arvioitu pituus km	Ero arvioituun			
			km	%	km-ero	[%]
Keskiarvo	4,2	3,7	-0,6	10	1,0	30
Mediaani	1,8	2	0,0	0	0,5	23
Arvot väliltä	0,4 – 18	0,3 – 12	-6 – 1,2	-33 – 150	0 – 6,0	0 – 150

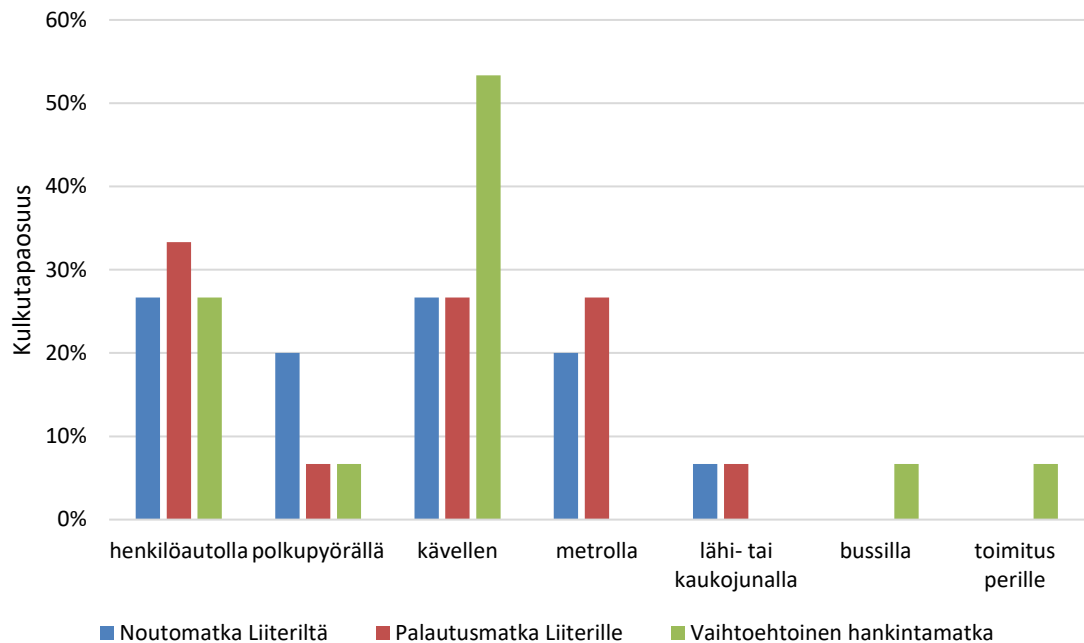
Liiterille tehtävien matkojen pituuksien mediaanista nähdään, että Liiterille kuljetaan pääasiassa melko läheltä. Kun matkojen eroavaisuuksia tarkastellaan, tasoittuu keskimääräinen virhe varsin pieneksi, kun osa yliarvio ja osa aliarvio matkojen pituutta. Absoluuttinen erotus (keskimäärin n. 1,0 km ja 30 %) sen sijaan on jopa varsin merkittävä matkojen pituuksiin nähden, joten vastaajien ilmoittamiin matkoihin on syytä suhtautua tämän pienenkin otoksen perusteella varsin kriittisesti. Matkojen pituuksien keskiarvo vaikuttaisikin olevan luotettavampi arvo käytettäväksi. Todellisia reittivalintoja ei tietystikään voida todentaa ilman tarkempia mittausmenetelmiä, jolloin arvio virheen suuruudesta vaatisi vielä lisäselvityksiä. Merkittävistä absoluuttisista eroista johtuen jatkoanalyysit on kuitenkin syytä tarkastella molempien arviointitapojen kannalta, jotta erojen vaikutukset nähdään konkreettisesti myös lopputuloksien kannalta.

Taulukko 12. Vaihtoehtoisten hankintamatkojen arvioidut sekä tarkistettut tiedot eroavaisuuksineen.

	Tarkistettu pituus km	Arvioitu pituus km	Ero arvioituun			
			km	%	km-ero	[%]
Keskiarvo	1,6	2,3	0,0	17	0,3	24
Mediaani	0,5	1,0	0,0	0	0,1	17
Arvot väliltä	0,1 – 8,2	0,05 – 8,0	-1,2 – 0,9	-50 – 150	0 – 1,2	0 – 100

Kyselyn SP-osassa tiedustelujen vaihtoehtoisen hankintojen matkat sen sijaan ovat keskimäärin Liiterimatkojakin lyhyempiä ja osa on myös mahdollisesti tarkistettu ohjeistuk-

sen mukaisesti Google Mapsista, sillä suurin osa vastauksista oli hyvin lähellä tarkistettujen matkojen pituuksia. Kenties matkojen lyhydestä johtuen absoluuttinen ero prosenteissa on edelleen yli 20 %, mutta kilometreissä mitattuna eroa tulee keskimäärin vain n. 300 m. Eri hankintamatkojen kulkutavat jakautuivat kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 6. Käytettyjen kulkutapojen suhteelliset osuudet eri matkoilla (n=15).

Vain kolme vastaajaa liikkui palautusmatkan Liiterille eri kulkutavalla kuin noudettaessa, joten pääosin osuudet eivät juuri muuttuneet Liiterille suuntautuvien matkojen kesken. Vaihtoehtoiset matkat olivat selkeästi lyhyempiä, mikä näkyy myös kulkutapavalinnoissa, sillä kävelyn osuus on Liiterille tehtävillä matkoilla merkittävästi vähäisempi. Vastaajista yksi tilaisi vaihtoehtoisen tuotteen kuljettavaksi suoraan käyttöpaikkaan, joten hänelle ei muodostu tältä osin varsinaisia nouto- tai palautusmatkoja. Liiterit ovat tulosten perusteella myös saavutettavissa metrolla ja lähijunalla, joita ei vaihtoehtoisten tuotteiden hankinnoissa käytetä lainkaan. Ristiintaulukoidessa kulkutapavalintojen vastaajakohtaiset muutokset eri asiointimatkojen välillä nähdään (Taulukko 13), miten valinnat olivat muuttuneet kulkutavasta toiseen.

Taulukko 13. Kulkutapavalintojen muutokset asiointimatkojen välillä. Tarkastelussa huomioitu vain Liiterille suuntautuvien nouto- ja palautusmatkan samalla kulkutavalla tehneet (80 % vastaajista). Samaa kulkutapaa kaikilla matkoilla käyttäneet alleviivattuna.

Molempien liiteriasiointimatkojen kulkutapa	VE-matkan kulkutapa			
	henkilöautolla	kävelen	bussilla	kotitoimitus
henkilöautolla	<u>3</u>			<u>1</u>
polkupyörällä		1		
kävelen		<u>3</u>	1	
metrolla		3		
lähi- tai kaukojunalla		1		

Liiterille suuntautuvien nouto- ja palautusmatkan samalla kulkutavalla tehneistä noin puolet käyttäisivät vaihtoehtoiseen hankintaan samaa kulkutapaa kuin käydessään Liiterillä. Toisen puoliskon osalta siirtymiä tapahtuu erityisesti Liiterille matkustettaessa rai- deliikennettä hyödyntäneille, joista kaikki vaihtoivat kävelyyn. Heidän osaltaan myös ko- konaisliikennesuoritteiden määrä väheni vastaajaa kohden keskimäärin yli 10 hkm hankin- tapaikkaa vaihdettaessa.

Vastauksien osalta on huomioitava, että kyselyssä kysyttiin yhdensuuntaisten matkojen kulkutapaa, mutta liikennesuoritteiden laskennassa käytetään edestakaisia matkoja, mi- käli matka on tehty vain tuotteen noutoa tai palautusta varten ja kulkutavan oletetaan olevan näillä matkoilla sama. Mikäli jokin matkoista on tehty toisen matkan yhteydessä, lasketaan suorite tältä osin vain yhdensuuntaiselta matkalta. Asiointimatkojen kokonais- liikennesuoritteet on koottu kulkumuotokohtaisesti taulukkoon 14.

Taulukko 14. Asiointimatkojen (VE = vaihtoehtoinen hankinta) kokonaisliikennesuo- ritteet kulkumuotokohtaisesti tarkistetuilla sekä vastaajien arvioimilla matkojen pituuksilla.

	Tarkistettujen matkojen pituudet				Vastaajien arvioimat pituudet			
	Liiteri	VE	Erotus (VE-Liiteri)	Muutos-% (Ero/Liiteri)	Liiteri	VE	Erotus (VE-Liiteri)	Muutos-% (Ero/Liiteri)
	hkm	hkm	hkm	%	hkm	hkm	hkm	%
henkilöautolla	66,3	39,7	-26,6	-40,1 %	57,1	38	-19,1	-33,5 %
polkupyörällä	10,9	10,0	-0,9	-8,3 %	10,1	10	-0,1	-1,0 %
kävelen	12,2	6,6	-5,6	-45,9 %	15,6	7,6	-8,0	-51,3 %
metrolla	71,0	0	-71,0	-100,0 %	57,0	0	-57,0	-100,0 %
lähi- tai kaukojunalla	15,4	0	-15,4	-100,0 %	14,0	0	-14,0	-100,0 %
bussilla	0	1,5	1,5		0	1,5	1,5	
yhteensä	175,8	57,8	-118,0	-67,1 %	153,8	57,1	-96,7	-62,9 %
per asiointi	11,72	3,85	-7,87	-67,1 %	10,25	3,81	-6,45	-62,9 %

Kun verrataan eri kulkumuotojen kokonaissuoritteita, huomataan Liiterille tehtävien mat- kojen tuottavan merkittävästi enemmän henkilökilometrejä kuin vaihtoehtoisten hankin- tojen. Osittain tämä johtuu siitä, että vaihtoehtoista hankintaa vain 47 % tehdään vuokrauksena tai lainauksena, jolloin yhdensuuntaisia matkasuoritteita hankintaa koh- den lasketaan 2–4 matkalta 1–2 sijaan. Lisäksi kaksi vastaajaa kolmesta oletettiin vaih- toehtoisen hankinnan tapahtuvan jonkin toisen matkan varrella tai yhteydessä, jolloin liikennesuorite lasketaan yhdeltä matkalta ostoksille ja kahdelta matkalta vuokrausten ja lainausten osalta. Tarkemmat ristiintaulukoinnin tulokset näiden jakaumien osalta on esi- tetty kuvassa 7. Lisäksi liikennesuoritteiden vähenemisen syynä ovat tietysti em. eroa- vaisuudet matkojen keskipituuksissa, jotka osaltaan vaikuttavat myös kulkutavan valin- taan. Poikkeamat tarkistettujen ja vastaajien arvioimien matkojen pituuksissa kertautuvat kokonaissuoritteiden tarkastelussa laskentatavasta johtuen, mutta erotus asiointia koh- den jää vain n. 1,5 henkilökilometriin keskiarvoon ollessa n. 11 hkm. Suhteelliset muu- tokset ovat kuitenkin lähes samaa tasoa matkan pituuden arvioijasta riippumatta.

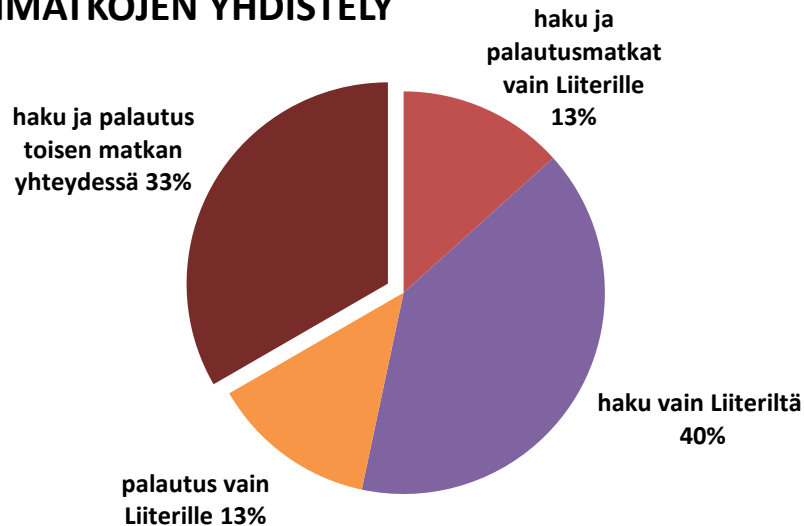
Kyselyyn jäi pieni puute, mikäli vastaaja ei osannut sanoa tai ei hankkisi vastaava tuotetta omaksi tai käyttöönsä (vastaajista 33 %). Tällöin seuraavassa kysymyksessä ei ollut valittavana vaihtoehtoa, että tuote saatettaisiin vuokrata tai lainata itse noutamalla, jolloin laskennassa nämä vaihtoehtoiset hankinnat oletettiin suoraan ostoksiksi, jolloin yhdensuuntaisia matkoja hankintaa kohden muodostuu ainoastaan yksi tai kaksi. Mikäli nämä hankinnat jakautuisivat ostoihin ja vuokrauksiin samassa suhteessa kuten muilla vastaajilla, olisi näistä 33 prosentista vain 20 % tehnyt hankintansa ostoksena. Suoritevirhe ei kuitenkaan muodostu kovin suureksi, sillä 80 % tämän ryhmän matkoista oli alle kilometrin pituinen ja lisäksi nouto tapahtuisi kävellen toisen matkan yhteydessä.

Vaihtoehtoisissa hankinnoissa ei voida tutkimusasetelman vuoksi luotettavasti erotella vuokraus- ja lainausmatkojen haku- ja palautusmatkojen yhdistelyä, jolloin kokonaissuoritteisiin muodostuu jonkin verran eroavaisuuksia pelkästään tästä syystä. Vastauksien perusteella ne, jotka yhdistelivät niin haku- kuin palautusmatkansa Liiterille, ollettivat poikkeuksetta yhdistelevän myös vaihtoehtoisen hankintamatkan. Sama ilmiö on nähtävissä myös niiden kohdalla, jotka eivät yhdistelleet matkoja. Vastaajista, jotka yhdistivät Liiterille suuntautuvan joko haku- tai palautusmatkan (eli 53 % vastaajista), 71 % yhdistelisi myös vaihtoehtoisen hankintamatkansa. Näin ollen vaihtoehtoisten hankintamatkojen kohdalla liikennesuoritteet voivat tutkimusasettelusta johtuen muodostua hieman pienemmiksi. Tämän vastaajajoukon perusteella ongelmaa ei kuitenkaan juuri muodostunut, sillä vaihtoehtoisen hankinnan vuokraamalla tai lainaamalla tekevien ryhmään (47 % vastaajista) ei sattunut tästä epävarmasta yhdistelijäryhmästä kuin yksi vastaaja (eli 14 % vuokraavien ryhmästä). Vastaajajoukko on tietysti myös varsin pieni, joten havainnot ei voida pitää yleistävinä.

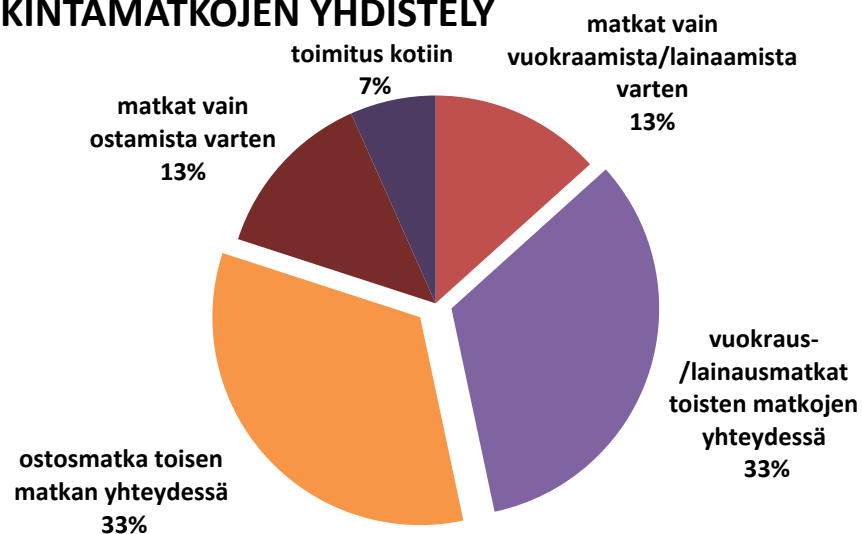
Virhettä tässä tarkastelussa aiheuttaa myös vaillinaiset tiedot koko matkaketjuista, jolloin suoritteet kohdistuvat vain yhden kulkumuodon mukaan. Tämä oli osittain tietoinen valinta kyselylomakkeen pituuden lyhentämiseksi, mutta kuviteltujen vaihtoehtoisten hankintamatkojen koko matkaketjun arvioinnista saatavia tietoja ei välttämättä voisi pitää kovin luotettavina, vaikka ne kyselylomakkeella selvitettäisiinkin. Tämän ongelman kiertämiseksi suositeltavaa olisi käyttää esimerkiksi karttapohjaista kyselyalustaa, jossa reitien teko olisi yksinkertaista ja nopeaa, jolloin myös oletetut matkat saisi vastaamaan paremmin todellisia valintoja. Myös jonkin toisen tutkimuksen arvioita matkaketjujen osuuksista voisi olla mahdollista hyödyntää, mutta näitä tietoja ei ainakaan HSL:n tai HLT:n julkisissa aineistoissa ole saatavilla. Ongelma koskee myös jatkoanalyysyjä, jotka perustuvat juuri liikennesuoritteisiin, jolloin liikkumis- ja onnettomuuskustannuksia sekä aktiivisen liikkumisen hyötyjä jää laskelmien ulkopuolelle. Päästöjen ja niiden kustannus-

ten osalta vaikutus on vähäisempi, sillä tällöin huomiotta jää lähinnä vain kävely- ja pyöräilyosuudet bussipysäkeille, kun henkilöautojen voidaan olettaa olevan pysäköitynä omassa pihapiirissä ja kaikkien muiden kulkumuotojen olevan päästöttömiä.

LIITERIMATKOJEN YHDISTELY



VAIHTOEHTOISTEN HANKINTAMATKOJEN YHDISTELY



Kuva 7. Matkojen yhdistely molemmissa tapauksissa. Vaihtoehtoisten hankintojen osalta eroteltu myös vuokraus- ja lainausmatkat ostosmatkoista (n=15).

5.4 Vaikutukset liikenteen päästöihin

Päästömäärien muutokset perustuvat vastausten perusteella edellä laskettuihin kokonaisliikennesuoritteiden muutoksiin, joista laskettiin myös keskimääräinen arvio asiointia kohden. Päästömääriä arvioidaan kulkumuotokohtaisesti käyttämällä LIPASTOn (VTT

2019b) vuoden 2016 keskimääräisiä yksikköpäästökertoimia (esitetty luvussa 4.3.2). Keskimääräisyys tarkoittaa tässä yhteydessä myös ajoneuvojen osalta keskimääräistä kuormitusta ja tätä tarkastelutapaa voidaan pitää tähän tutkimukseen soveltuva, koska se yleistää hyvin vaihtelevat kuormitukset sekä myös autojen käyttövoimat ja päästöluokat. Kokonaispäästömäärät ja niiden muutokset on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Päästömuutokset kokonaisliikennesuoritteiden sekä LIPASTOn yksikköpäästökertoimien perusteella laskettuna.

	Päästömuutokset (tarkistetuista pituuksista) [g]									
	CO	HC	NO _x	PM _{2.5} (pakok.)	PM _{2.5} (katup.)	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	CO ₂ ekv
Kokonaispäästöt: Liiteri	24,5310	2,0553	22,5420	0,7956	0,6497	0,0995	0,3050	0,0457	10277	10409
Kokonaispäästöt: VE	14,7835	1,2447	13,9330	0,4854	0,3991	0,0600	0,1853	0,0276	6932	7012
Erotus (VE-Liiteri)	-9,7475	-0,8107	-8,6090	-0,3102	-0,2506	-0,0395	-0,1197	-0,0181	-3345	-3397
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-39,7 %	-39,4 %	-38,2 %	-39,0 %	-38,6 %	-39,7 %	-39,2 %	-39,6 %	-32,5 %	-32,6 %
Per asiointi	-0,6498	-0,0540	-0,5739	-0,0207	-0,0167	-0,0026	-0,0080	-0,0012	-223	-226
	Päästömuutokset (vastaajien matka-arvioista) [g]									
	CO	HC	NO _x	PM _{2.5} (pakok.)	PM _{2.5} (katup.)	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	CO ₂ ekv
Kokonaispäästöt: Liiteri	21,1270	1,7701	19,4140	0,6852	0,5596	0,0857	0,2627	0,0394	8851	8965
Kokonaispäästöt: VE	14,1545	1,1920	13,3550	0,4650	0,3825	0,0574	0,1775	0,0265	6668	6746
Erotus (VE-Liiteri)	-6,9725	-0,5782	-6,0590	-0,2202	-0,1771	-0,0282	-0,0852	-0,0129	-2183	-2191
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-33,0 %	-32,7 %	-31,2 %	-32,1 %	-31,7 %	-33,0 %	-32,4 %	-32,8 %	-24,7 %	-24,8 %
Per asiointi	-0,4648	-0,0385	-0,4039	-0,0147	-0,0118	-0,0019	-0,0057	-0,0009	-146	-148

Kyselyn vastausten perusteella Liiterille suuntautuvien matkojen kokonaispäästöt ovat keskimäärin 25–40 % suuremmat riippuen päästöryhmästä ja käytetäänkö laskennassa tarkistettuja vai vastaajien ilmoittamia matkojen pituuksia. Vaihtoehtoisten hankintamattojen vähäisempi määrä ja lyhyempi pituus ovat pääasiallinen syy päästömäärien vähenemiseen, mutta laskennassa eroja muodostuu myös suoritteiden yhteydessä käsiteltyjen matkojen yhdistelyn vuoksi. Kuten luvussa 4.3.2 on mainittu, pakettien toimituksen päästömäärä on todennäköisesti yliarvioitu, ja se myös nostaa vaihtoehtoisten hankintojen CO₂-kokonaispäästömäärää varsin merkittävästi.

5.5 Taloudelliset vaikutukset

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kustannuksia niin itse liikkujan kuin yhteiskunnan näkökulmasta. Tätä jaottelua on joissain tapauksissa vaikea tehdä, sillä Suomessa kateetaan julkisia kuluja hyvin paljon erilaisista veroista ja maksuista kerätyillä varoilla. Esi-merkiksi suurin osa liikenneinfrastrukturalle on rahoitettu kuntien sekä valtion keräämillä veroilla ja maksuilla. Tarkastelunäkökulmaksi on kuitenkin valittu liikkujan itse maksamat liikkumiskustannukset, päästöjen (sekä onnettomuuksien) aiheuttamat terveyskustannukset sekä aktiivisten liikkujien tuomat säästöt terveydenhuoltoon.

Laskelmissa käytettävien yksikkökertoimien arvot ovat varsin pitkälle yleistettyjä keskimääräisiä arvioita joko suoraan toisista lähteistä saatuja tai niissä esitetyistä tiedoista

laskettuja. Näin ollen ne luonnollisesti sisältävät lukuisia ja erisuuruisia epävarmuustekijöitä, eikä kaikkia näitä voida tässä yhteydessä huomioida laskelmissa tai kirjallisesti. Laskennoissa käytettävät yksikkökertoimet on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Taloudellisten vaikutusten laskennoissa käytetyt yksikkökertoimet.

	liikkumiskustannus	päästö- kustannukset (CO ₂ keski)	onnettomuus- kustannus [€/hkm]	aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt [€/hkm]
henkilöauto	0,3679 €/hkm	0,0062 €/hkm	0,0126	-
polkupyörä	0,0495 €/hkm	-	0,2493	0,6311
kävely	0,1250 €/hkm	-	0,0995	1,1159
metro	0,9729 €/nousu	-	-	-
lähi- tai kaukojuna	0,9729 €/nousu	-	-	-
bussi	0,9729 €/nousu	0,0036 €/hkm	-	-
toimitus perille	12,90 €/toim.	0,0259 €/toim.	-	-

5.5.1 Liikkumis- ja tilauskustannukset

Kustannusvertailussa kustannukset osoitettiin henkilöautoa käyttäneille täysimääräisenä (eli luvussa 4.3.1 lasketun €/km hinnan mukaisesti), sillä vastausten mukaan heillä oli auto käytettävissään aina tai lähes aina ja he omistivat voimassa olevan ajokortin. Joukkoliikennettä käyttäville laskettiin matkalippukustannukset yhden nousun mukaan per asiointi, mikäli he ovat asioineet jonkin toisen matkan yhteydessä. Mikäli matka on tehty vain asiointia varten, lasketaan kustannus kahden nousun mukaan per edestakainen matka, sillä keskimääräinen kustannus on laskettu nousujen mukaan eikä tällöin vaihtojen sisällä tehtyjä matkoja voida erotella toisistaan ja tällöin nousut liittyvät ainoastaan tehtyyn tai oletettuun asiointiin. Perille asti toimitettavien tilauksien toimituskuluja vertailtiin tekemällä eri kokoisista ja painoisista tuotteista ostoskoreja verkkokaupoissa. Suurillekin tilauksille ostosten yhteydessä maksettava toimitusmaksu jäi alle 13 euron, mutta tietysti osa näistä kustannuksista voidaan sisällyttää tuotteiden hintoihin. Yrityksien tehdessä paljon lähetyksiä, saadaan niille todennäköisesti neuvoteltua lähetystä kohti selkeästi kuluttajahintoja edullisempi hinta, jolloin esim. postin kuluttajahinnaston käyttäminen yliarvioisi toimituskulujen suuruutta. Liikkumisen kokonaiskustannukset sekä niiden muutokset on esitetty taulukossa 17.

Liikkumisen kustannusten osalta muutokset eri hankintatapojen välillä ovat vain 14–20 % riippuen käytetäänkö tarkistettuja pituuksia vai ei. Kustannusten osalta on nähtävissä samat eroavaisuudet liikennesuoritteiden määrässä, mikä johtaa vaihtoehtoisten hankintamatkojen olevan keskimäärin 32–49 senttiä halvempia. Pienemmät erot hankintatapojen välillä johtuvat suurelta osin yhdestä kotitoimituksesta, joka nostaa vaihtoehtoisten hankintojen kokonaiskustannuksia varsin merkittävästi. Ilman tätä Liiterille tehtyjen matkojen keskimääräiset kustannukset olisivat asiointia kohden yli 50 % tai reilun euron verran vaihtoehtoisia hankintoja suurempia. Suuremmalla vastaajajoukolla kotitoimitusten

suhteellinen osuus saattaisi olla pienempi, jolloin sen merkitys ei korostuisi näin paljon. Liiteri-asiointia kohden keskimääräinen liikkumiskustannus on n. 2,48 € tarkistetuille matkoille n. 2,28 € vastaajien ilmoittamille pituuksille.

Taulukko 17. Liikkumisen kokonaiskustannukset sekä niiden muutokset kulkumuodoittain.

	Liikkumiskustannukset (tarkistetuista matkoista) €							
	henkilö- autolla	polku- pyörällä	kävelen	metrolla	lähi- tai kaukojunalla	bussilla	kotiin- kuljetus	Yhteensä
Kokonaiskustannukset: Liiteri	24,3918	0,5392	1,5250	8,7561	1,9458	0	0	37,1579
Kokonaiskustannukset: VE	14,6056	0,4947	0,8250	0,0000	0,0000	0,9729	12,9000	29,7982
Erotus (VE-Liiteri)	-9,7861	-0,0445	-0,7000	-8,7561	-1,9458	0,9729	12,9000	-7,3597
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-40,1 %	-8,3 %	-45,9 %	-100,0 %	-100,0 %			-19,8 %
Per asiointi	-0,6524	-0,0030	-0,0467	-0,5837	-0,1297	0,0649	0,8600	-0,4906
	Liikkumiskustannukset (vastaajien arvioista) €							
Kokonaiskustannukset: Liiteri	21,0071	0,4996	1,9500	8,7561	1,9458	0	0	34,1586
Kokonaiskustannukset: VE	13,9802	0,4947	0,9500	0,0000	0,0000	0,9729	12,9000	29,2978
Erotus (VE-Liiteri)	-7,0269	-0,0049	-1,0000	-8,7561	-1,9458	0,9729	12,9000	-4,8608
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-33,5 %	-1,0 %	-51,3 %	-100,0 %	-100,0 %			-14,2 %
Per asiointi	-0,4685	-0,0003	-0,0667	-0,5837	-0,1297	0,0649	0,8600	-0,3241

5.5.2 Päästökustannukset

Päästökustannusten laskennassa käytetään luvussa 4.3.3 pääkaupunkiseudulle esitettyjen kustannusten yksikköpäästökertoimien arvoja ja CO₂ekv-päästöille kolmea eri suurista kustannusarviota. Päästö määrät on esitetty luvussa 5.4 ja näiden osalta PM_{2,5}-päästöt on laskettu yhteen. Päästöjen kokonaiskustannukset ja niiden muutokset hankintatapojen välillä päästöryhmittäin on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Liikennepäästöjen kokonaiskustannukset ja niiden muutokset hankintatapojen välillä päästöryhmittäin.

	Päästökustannukset (tarkistetuista pituuksista) [€]					Yhteensä (ala)	Yhteensä (keski)	Yhteensä (ylä)
	PM _{2,5}	NO _x	CO ₂ ekv (ala)	CO ₂ ekv (keski)	CO ₂ ekv (ylä)			
Kokonaispäästöt: Liiteri	0,3374	0,0374	0,2810	0,3851	0,5100	0,6558	0,7599	0,8848
Kokonaispäästöt: VE	0,2065	0,0231	0,1893	0,2595	0,3436	0,4189	0,4890	0,5732
Erotus (VE-Liiteri)	-0,1309	-0,0143	-0,0917	-0,1257	-0,1664	-0,2369	-0,2709	-0,3116
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-38,8 %	-38,2 %	-32,6 %	-32,6 %	-32,6 %	-36,1 %	-35,6 %	-35,2 %
Per asiointi	-0,0087	-0,0010	-0,0061	-0,0084	-0,0111	-0,0158	-0,0181	-0,0208
	Päästökustannukset (vastaajien arvioista) [€]					Yhteensä (ala)	Yhteensä (keski)	Yhteensä (ylä)
	PM _{2,5}	NO _x	CO ₂ ekv (ala)	CO ₂ ekv (keski)	CO ₂ ekv (ylä)			
Kokonaispäästöt: Liiteri	0,2906	0,0322	0,2420	0,3317	0,4393	0,5648	0,6544	0,7620
Kokonaispäästöt: VE	0,1978	0,0221	0,1821	0,2496	0,3305	0,4021	0,4695	0,5505
Erotus (VE-Liiteri)	-0,0927	-0,0100	-0,0599	-0,0821	-0,1087	-0,1627	-0,1849	-0,2115
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-31,9 %	-31,2 %	-24,8 %	-24,8 %	-24,8 %	-28,8 %	-28,3 %	-27,8 %
Per asiointi	-0,0062	-0,0007	-0,0040	-0,0055	-0,0072	-0,0108	-0,0123	-0,0141

Päästöjen yhteenlaskettujen kustannusten muutokset ovat tarkistetuille pituuksille Liiteri-asiointia kohden vain n. 1,0–1,5 senttiä suuremmat, vaikka suhteellinen muutos on tarkistetuille pituuksille n. 36 % ja vastaajien arvioimille n. 28 %. Yhteenlaskettujen päästökustannusten suuruus vaihtelee lähinnä käytetyn SCC:n hinnan mukaan 2,7–5,9 sentin

välillä per asiointi, joten esimerkiksi liikkumiskustannuksiin verrattuna kustannus on varsin pieni.

5.5.3 Onnettomuuskustannukset

Onnettomuuskustannukset laskettiin luvussa 4.3.4 esitettyjen yksikkökertoimien sekä luvussa 5.3 esitettyjen liikennesuoritteiden tulona. Virallisen tilaston mukaiset onnettomuuskustannusarviot on esitetty taulukossa 19 ja kustannusarviot sisältäen myös tilastojen ulkopuoliset onnettomuudet taulukossa 20.

Taulukko 19. Virallisten tilastojen mukaan laskettujen yksikkökertoimien mukaiset onnettomuuskustannukset yhteensä sekä kulkumuodoittain.

	Onnettomuuskustannukset (tilasto, tarkistetuista matkoista) €				
	henkilöautolla	polkupyörällä	kävelen	Yhteensä	Per asiointi
Kokonaiskustannukset: Liiteri	0,7882	1,2427	1,01214	2,2548	0,1503
Kokonaiskustannukset: VE	0,47197	1,14009	0,54755	1,6876	0,1125
Erotus (VE-Liiteri)	-0,3162	-0,1026	-0,4646	-0,5672	-0,0378
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-40,1 %	-8,3 %	-45,9 %		-25,2 %
Per asiointi	-0,0211	-0,0068	-0,0310		
	Onnettomuuskustannukset (tilasto, vastaajien arvioista) €				
	henkilöautolla	polkupyörällä	kävelen	Yhteensä	Per asiointi
Kokonaiskustannukset: Liiteri	0,67882	1,15149	1,29421	2,4457	0,1630
Kokonaiskustannukset: VE	0,45176	1,14009	0,63051	1,7706	0,1180
Erotus (VE-Liiteri)	-0,2271	-0,0114	-0,6637	-0,6751	-0,0450
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-33,5 %	-1,0 %	-51,3 %		-27,6 %
Per asiointi	-0,0151	-0,0008	-0,0442		

Taulukko 20. Virallisten tilastojen sekä niiden ulkopuolisten yhteenlaskettujen yksikkökertoimien mukaiset onnettomuuskustannukset yhteensä sekä kulkumuodoittain.

	Onnettomuuskustannukset (tilasto+ulkopuoliset, tarkistetuista matkoista) €				
	henkilöautolla	polkupyörällä	kävelen	Yhteensä	Per asiointi
Kokonaiskustannukset: Liiteri	0,8372	2,71688	1,21389	3,9308	0,2621
Kokonaiskustannukset: VE	0,50131	2,49255	0,65669	3,1492	0,2099
Erotus (VE-Liiteri)	-0,3359	-0,2243	-0,5572	-0,7815	-0,0521
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-40,1 %	-8,3 %	-45,9 %		-19,9 %
Per asiointi	-0,0224	-0,0150	-0,0371		
	Onnettomuuskustannukset (tilasto+ulkopuoliset, vastaajien arvioista) €				
	henkilöautolla	polkupyörällä	kävelen	Yhteensä	Per asiointi
Kokonaiskustannukset: Liiteri	0,72103	2,51747	1,55218	4,0697	0,2713
Kokonaiskustannukset: VE	0,47984	2,49255	0,75619	3,2487	0,2166
Erotus (VE-Liiteri)	-0,2412	-0,0249	-0,7960	-0,8209	-0,0547
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-33,5 %	-1,0 %	-51,3 %		-20,2 %
Per asiointi	-0,0161	-0,0017	-0,0531		

Henkilöautolla kulkeville onnettomuuskustannus henkilökilometriä kohden on muihin kulkumuotoihin verrattuna selkeästi pienempi, jolloin niiden osuus kokonaiskustannuksista sekä absoluuttiset muutokset ovat varsin vähäiset. Myös erot matkojen pituuksien ilmoittajasta eivät juuri vaikuta näihin kustannuksiin, joten eniten vaikutusta on käytetyillä yksikkökertoimilla. Tilastojen ulkopuolisten onnettomuuksien huomioiminen nostaa kustannuksia selvästi, kun pyöräilyn kustannukset yli kaksinkertaistuvat. Asiointia kohden euron määrän absoluuttinen muutos on kuitenkin vähäinen kaikissa tapauksissa eli Liiterille suuntautuvat asioinnit ovat onnettomuuksien osalta n. 4–5 senttiä kalliimpia.

5.5.4 Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt

Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt laskettiin luvussa 4.3.5 esitettyjen yksikkökertoimien sekä luvussa 5.3 esitettyjen liikennesuoritteiden tulona. Liikkumishyötyjen kokonaismäärät ja niiden muutokset on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Terveyshyötyjen kokonaismäärät sekä niiden muutokset euroina.

	Liikkumishyödyt (tarkistetuista matkoista) €			
	polkupyörällä	kävelen	Yhteensä	Per asiointi
Kokonaishyödyt: Liiteri	6,8790	13,6140	20,4930	1,3662
Kokonaishyödyt: VE	6,3110	7,3650	13,6760	0,9117
Erotus (VE-Liiteri)	-0,5680	-6,2491	-6,8171	-0,4545
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-8,3 %	-45,9 %		-33,3 %
Per asiointi	-0,0379	-0,4166		
	Liikkumishyödyt (vastaajien arvioista) €			
	polkupyörällä	kävelen	Yhteensä	Per asiointi
Kokonaishyödyt: Liiteri	6,3741	17,4081	23,7822	1,5855
Kokonaishyödyt: VE	6,3110	8,4809	14,7919	0,9861
Erotus (VE-Liiteri)	-0,0631	-8,9272	-8,9903	-0,5994
Muutos-% (Ero/Liiteri)	-1,0 %	-51,3 %		-37,8 %
Per asiointi	-0,0042	-0,5951		

Kuten luvussa 5.3 todettiin, vaihtoehtoisilla hankintamatkoilla kävely sai suuremman kulutapaosuuden, mutta matkojen pituudet kuitenkin lyhenivät, jolloin kävelyn terveyshyötyjä kertyy näillä matkoilla hieman yli 50 % vähemmän. Pyöräilyn suoritteissa eroja ei juuri muodostunut, mikä tietysti näkyy myös terveyshyötyjen lähes olemattomana muutoksena. Asiointia kohden terveyshyötyjä kertyy kuitenkin Liiterille suuntautuvista matkoista reilusti yli euron verran per asiointi matkan pituuksien arvioijasta riippumatta, kun vaihtoehtoisilla hankinnoilla hyöty jää 91–99 senttiin per asiointi. Laskelmiin kannattaa kuitenkin suhtautua varauksella puuttuvien liityntämatkojen, terveysvaikutuksien kohdentumisen sekä kyselyvastausten vähäisyyden vuoksi.

5.6 Tuloksien koonti ja herkkyyštarkastelu

Kaikki edellä lasketut kustannukset laskettiin yhteen kokonaistaloudellista tarkastelua varten taulukkoon 22, vaikkakin kustannukset sisältävät osin toisensa kattamia kuluja kuten liikkumismaksuista maksettavilla veroilla kustannetaan Suomessa terveydenhuollon kuluja. Päästökustannuksista tähän laskelmaan otettiin Liikenneviraston SCC-arvio ja onnettomuuskustannuksiin mukaan luettiin myös virallisten tilastojen ulkopuoliset kulut. Terveyshyötyjen ollessa kuluja vähentäviä, ne myös merkittiin kokonaiskustannusten laskemista varten negatiiviksi.

Matkojen pituuksien arviointien eroavaisuudet kertautuvat kokonaiskustannuksia laskettaessa, mikä tekee vastaajien arvioimista vaihtoehtoisten hankintojen matkoista n. 20 % kalliimpia, jolloin Liiterille tehty matkat tulevat asiointia kohden n. 21 senttiä edullisem-

miksi. Pituuksien tarkistus kuitenkin muuttaa tilannetta, koska henkilöautosuorite on hieman suurempi ja kävelyn puolestaan pienempi, jolloin vaihtoehtoiset hankintamatkat ovat asiointia kohden keskimäärin 11 senttiä edullisempia.

Taulukko 22. Kootut kustannukset ja niiden summat sekä muutokset.

Liiterimatkojen kustannukset [€]	Tarkistettut matkat		Vastaajien arvioimat	
	Yhteensä	per asiointi	Yhteensä	per asiointi
Liikkumis- ja tilauskustannukset	37,1579	2,4772	34,1586	2,2772
Päästökustannukset (SCC keskim.)	0,7599	0,0507	0,6544	0,0436
Onnettomuuskustannukset (vt+up)	3,9308	0,2621	4,0697	0,2713
Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt	-20,4930	-1,3662	-23,7822	-1,5855
Yhteensä	21,3555	1,4237	15,1005	1,0067
VE hankintamatkojen kustannukset [€]				
Liikkumis- ja tilauskustannukset	29,7982	1,9865	29,2978	1,9532
Päästökustannukset (SCC keskim.)	0,4890	0,0326	0,4695	0,0313
Onnettomuuskustannukset (vt+up)	3,1492	0,2099	3,2487	0,2166
Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt	-13,6760	-0,9117	-14,7919	-0,9861
Yhteensä	19,7605	1,3174	18,2242	1,2149
Erotus (VE-Liiteri)	-1,5950	-0,1063	3,1237	0,2082
Muutos-% (Ero/Liiteri)		-7,5 %		20,7 %

Herkkyystarkastelu tehtiin varioimalla ainoastaan kustannustekijöiden yksikkökertoimia sekä niiden laskentaan vaikuttavia keskeisiä tunnuslukuja. Vaikka liikennesuoritteilla on merkittävä painoarvo kustannustarkastelun kannalta, on niiden varioiminen ilman esim. laajempaa paikkatietoanalyysia jokseenkin kyseenalaista, sillä vertailulähtökohtia ei käytännössä ole olemassa ja myös muuttuvia tekijöitä on varsin paljon. Päästöjen ja onnettomuuksien osalta analyysia voisi tehdä, mutta niiden vaikutus kustannuksiin oli lopulta varsin vähäinen, joten merkittäviä eroja näiden kautta tuskin muodostuisi.

Kustannustekijöiden varioinnissa yksikkökertoimien ja keskeisten tunnuslukujen ala- ja ylärajahinnat vaihtelevat korkeintaan +40 % varsinaisissa laskuissa käytetyistä arvoista. Liikkumis- ja onnettomuuskustannuksia arvioitiin yksinkertaisesti varioimalla yksikkökertoimia +25 %, sillä parempia arvioita nyt käytettyjen kustannusten vaihtelurajoista ei ollut saatavilla. Päästökustannusten variointi perustuu Savolahti et al. (2018, taulukko 5) esittämiin arvioihin, joissa ylärajana on 2,65 miljoonan euron VSL ja alarajana VOLY-keskiarvo 160 000 €. PM_{2.5}-päästökustannusten yksikkökustannuksen ylärajaksi saadaan tällöin 320 000 €/t ja alarajaksi 140 000 €/t. NO_x-päästöjen rajat saadaan samasta taulukosta eli alarajaksi muodostuu 820 €/t ja ylärajaksi vain hieman Liikenneviraston arvoa korkeampi 1 800 €/tonni. Aktiivisen liikkumisen terveyshyötyjä varioidaan ainoastaan VSL:n avulla, sillä matka- ja keskinopeusarvot ovat HLT:n (Liikennevirasto 2018a) mukaan varsin tarkkoja arvoja. Ylärajana käytetään WHO:n (2015, taulukko 2.1.) vuoden 2010 VSL-arvioita (2,95 miljoonaa euroa), joka vuoden 2017 hintoihin Tilastokeskuksen kuluttajahintaindeksin mukaan korjattuna (indeksit 2010 = 116,7; 2017 = 128,4 eli kasvua n. 10 %) on n. 3,25 miljoonaa euroa. Alarajana käytettiin Wijnen et al.:n (2019, Appendix E) Suomen liikenneonnettomuuksien indeksikorjattua (2015 indeksi 127,0 eli kasvua n.

1,1 %) kustannusarvioita 2,366 milj. euroa (vuoden 2015 arvio 2,34 milj. euroa), joka sisältää WTP-arvioihin perustuvat inhimillisen pääoman sekä tuotannon menetykset.

Edellä käytettyjen arvojen pohjalta laskettiin kustannusten ääritapaukset, joiden absoluuttiset muutokset on esitetty taulukossa 23 ja suhteelliset muutokset taulukossa 24. Kustannusminimissä kustannukset ovat minimissään ja hyödyt vastaavasti maksimissaan, jotta kokonaiskustannus muodostuisi mahdollisimman pieneksi. Kustannusmaksimissa asetelma on tietysti juurikin päinvastainen.

Taulukko 23. Kustannusminimit ja -maksimit varioitujen lähtöarvojen mukaan laskettuna.

	Kustannusminimi				Kustannusmaksimi			
	Tarkistetut matkat		Vastaajien arvioimat		Tarkistetut matkat		Vastaajien arvioimat	
Liiterimatkojen kustannukset [€]	Yhteensä	per asiointi	Yhteensä	per asiointi	Yhteensä	per asiointi	Yhteensä	per asiointi
Liikkumis- ja tilauskustannukset	27,8684	1,8579	25,6190	1,7079	46,4473	3,0965	42,6983	2,8466
Päästökustannukset	0,5019	0,0335	0,4322	0,0288	1,0131	0,0675	0,8725	0,0582
Onnettomuuskustannukset (vt+up)	3,2515	0,2168	3,4403	0,2294	4,6100	0,3073	4,6990	0,3133
Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt	-25,0713	-1,6714	-29,0871	-1,9391	-18,2958	-1,2197	-21,2323	-1,4155
Yhteensä	6,5506	0,4367	0,4044	0,0270	33,7747	2,2516	27,0376	1,8025
VE hankintamatkojen kustannukset [€]								
Liikkumis- ja tilauskustannukset	22,3487	1,4899	21,9733	1,4649	37,2478	2,4832	36,6222	2,4415
Päästökustannukset	0,3246	0,0216	0,3117	0,0208	0,6517	0,0434	0,6258	0,0417
Onnettomuuskustannukset (vt+up)	2,5261	0,1684	2,6256	0,1750	3,7724	0,2515	3,8719	0,2581
Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt	-16,7400	-1,1160	-18,1033	-1,2069	-12,2096	-0,8140	-13,2059	-0,8804
Yhteensä	8,4593	0,5640	6,8074	0,4538	29,4622	1,9641	27,9140	1,8609
Erotus (VE-Liiteri)	1,9088	0,1273	6,4030	0,4269	-4,3125	-0,2875	0,8764	0,0584
Muutos-% (Ero/Liiteri)	29,1 %		1583,3 %		-12,8 %		3,2 %	

Taulukko 24. Kustannusminimien ja -maksimien suhteelliset muutokset alkuperäisiin laskelmiin verrattuna.

	Kustannusminimi muutos-% (Ero/alkup.)		Kustannusmaksimi muutos-% (Ero/alkup.)	
	Tarkistetut matkat	Vastaajien arvioimat	Tarkistetut matkat	Vastaajien arvioimat
Liiterimatkojen kustannukset [%]				
Liikkumis- ja tilauskustannukset	-25,0 %	-25,0 %	25,0 %	25,0 %
Päästökustannukset	-34,0 %	-34,0 %	33,3 %	33,3 %
Onnettomuuskustannukset (vt+up)	-17,3 %	-15,5 %	17,3 %	15,5 %
Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt	22,3 %	22,3 %	-10,7 %	-10,7 %
Yhteensä	-69,3 %	-97,3 %	58,2 %	79,1 %
VE hankintamatkojen kustannukset [%]				
Liikkumis- ja tilauskustannukset	-25,0 %	-25,0 %	25,0 %	25,0 %
Päästökustannukset	-33,6 %	-33,6 %	33,3 %	33,3 %
Onnettomuuskustannukset (vt+up)	-19,8 %	-19,2 %	19,8 %	19,2 %
Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt	22,4 %	22,4 %	-10,7 %	-10,7 %
Yhteensä	-57,2 %	-62,6 %	49,1 %	53,2 %
Erotus (VE-Liiteri)	-219,7 %	105,0 %	170,4 %	-71,9 %

Hintavariointien suhteellinen maksimimuutos eri kustannustekijöiden kokonaiskustannuksista jäi +-34 prosenttiin, mutta yhteenlasketut maksimimuutokset olivat kaikissa tapauksissa yli +-49 prosenttia pitkälti terveyshyötyjen suurista ja erisuuntaisista muutoksista johtuen. Tämä näkyy myös lopullisissa erotuksissa, joihin tulee ääritapauksissa hyvin merkittäviä muutoksia kääntäen vertailuasetelmat aivan vastakkaisiin suuntiin. Koska kyseessä on ääritapaukset, ovat ne oletettavasti myös kaikista epätodennäköisimmät

tilanteet. Ääripäistä kuitenkin nähdään, että käytettävillä laskenta-arvoilla on varsin suuri merkitys vertailuarvoja laskettaessa.

Eri kustannustekijöiden vaikutusta lopulliseen hintaerotukseen tarkasteltiin myös siron-takartoituksen (engl. scatter plot) avulla. Tätä varten täytyi ensin parametrisoida vaihto-ehdoisten hankintakustannuksien muodostuminen käyttäen hyväksi kustannustekijöiden ääri- sekä keskiarvoja ja muodostamalla näistä lineaarisella optimoinnilla suoran yhtälö. Tarkastelussa käytettiin vain tarkistettujen matkojen arvoja, sillä tarkastelussa haluttiin vain havainnollistaa eri kustannustekijöiden vaikutusta. Sovitteiden parametrien sekä niiden hyvyttä kuvaavat R^2 -arvot on esitetty taulukossa 25.

Taulukko 25. Yhtälön $y = ax+b$ parametrit kustannusluokittain sekä sovitteen R^2 -arvo.

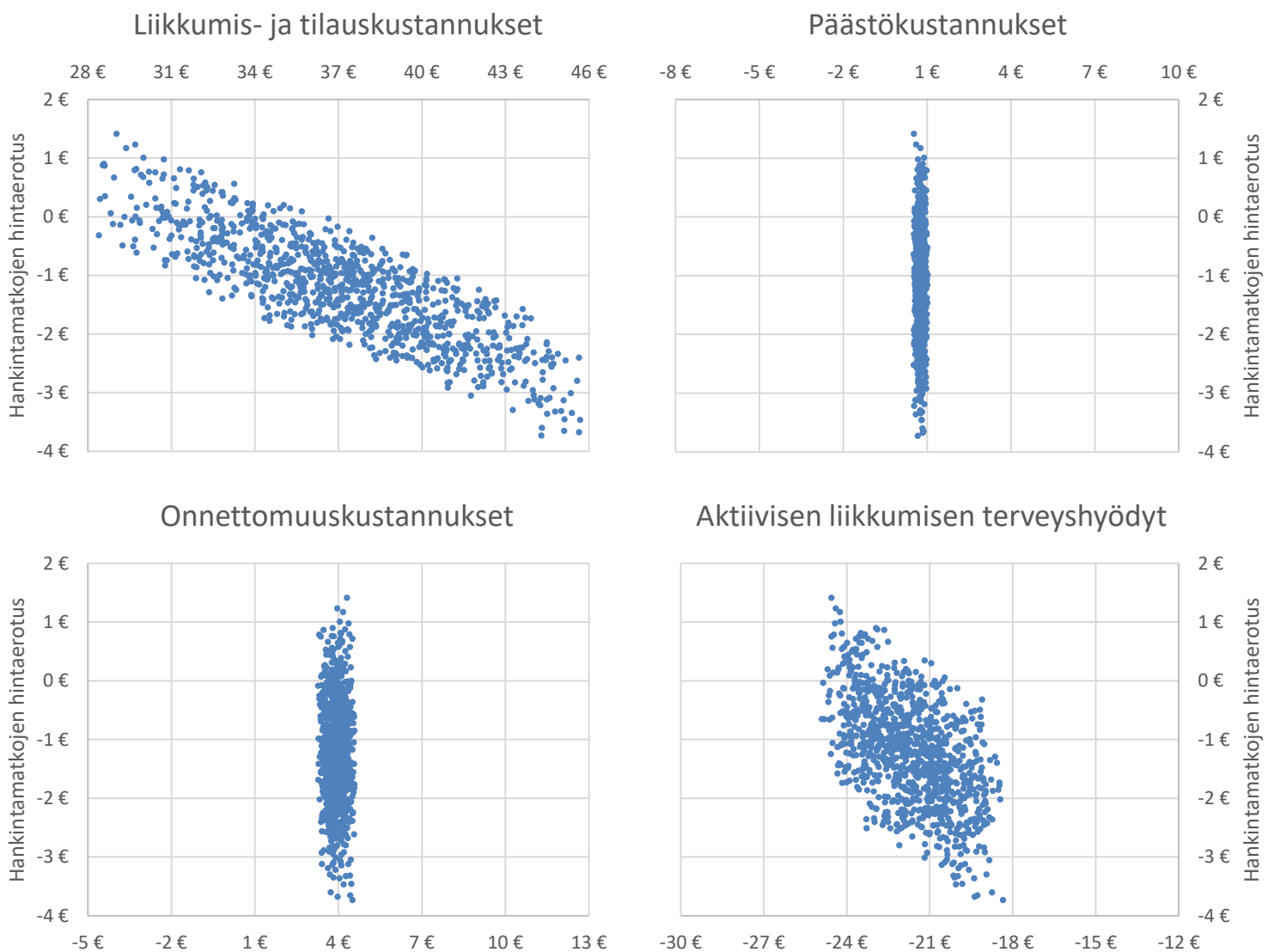
	a	b	R^2
Liikkumis- ja tilauskustannukset	0,80	0,00	1,00
Päästökustannukset	0,64	0,00	1,00
Onnettomuuskustannukset (vt+up)	0,92	-0,46	1,00
Aktiivisen liikkumisen terveyshyödyt	0,67	0,03	1,00

R^2 -arvoista nähdään, että yhdenkään kustannustekijän arvot eivät poikkea sovitetuilta suorilta juuri lainkaan, jolloin vaihtoehtoiset kustannukset muodostuvat lineaarisesti ja tarkasti Liiteri-asiointimatkojen kustannusten mukaan, mikä oli myös odotettu tulos näin pienellä määrittelyjoukolla. Jokaisen tekijän hinta myös nousee oletetusti varioitujen lähtöarvojen hinnan mukana.

Sirontakartoitusta varten eri kustannustekijöiden arvot arvottiin ilman painotuksia jokaiselle aiemmin määritettyjen minimi- ja maksimirajojen puitteissa. Näiden arvottujen kustannusten perusteella laskettiin vaihtoehtoiset kustannukset yhtälön $y = ax+b$ ja taulukossa 25 esitettyjen arvojen mukaisesti. Lopuksi voitiin laskea lopullinen kustannusero tus jokaiselle arvontakerralle. Arvontoja suoritettiin 1000 kertaa ja näiden tulokset on esitetty graafisesti pisteinä kaksiulotteisessa koordinaatistossa kuvassa 8. Pystyakselina on kaikissa tapauksissa hintaerotuksen suuruus ja vaaka-akselina tarkasteltu kustannustekijä. Vertailun vuoksi koordinaatistojen akselien skaalaus on pidetty samana kaikissa kuvaajissa. Painottoman arvannon vuoksi tulosten pitäisi olla jokseenkin normaali jakautuneet.

Arvannon tuloksista pystyisi myös tekemään analyysin myös numeerisesti, mutta etenkin liikennesuoritteissa olevat epävarmuudet vaikuttaisivat todennäköisesti arvioihin niin merkittävästi, ettei analyysillä olisi varsinaista lisäarvoa tutkimuksen kannalta. Yksinkertaisen graafisen esityksen perusteellakin nähdään, että suurin vaikutus lopulliseen hintaerotukseen on liikkumiskustannuksilla sekä aktiivisen liikkumisen terveyshyötyjen arvoilla. Päästö- tai onnettomuuskustannusten vaihtelut eivät yksistään pysty muuttamaan

hintaerotusta Liiteriä tai vaihtoehtoisia matkoja suosivaksi, sillä niiden osuus kokonaiskustannuksista on vähäinen. Mahdollisimman matalat liikkumiskustannukset saavat tasapainon siirtymään Liiterille edullisemmaksi, mutta pienikin suhteellinen nousu näiden osalta kasvattaa Liiterin asiointimatkojen kustannuksia vaihtoehtoisia matkoja korkeammaksi lähinnä suurempien liikennesuoritteiden vuoksi. Aktiivisen liikkumisen korkeammat VSL-arviot (ts. suuremmat kustannussäästöt) tekevät pääasiassa kävelyn suurempien suoritteiden vuoksi Liiterin asiointimatkoista vaihtoehtoisia edullisempia, mutta tasapainon kannalta muut kustannukset vaikuttavat merkitsevän kuitenkin enemmän. Näin ollen kustannuserotus painottuu enemmän vaihtoehtoisten matkojen hyväksi tarkastelussa käytetyillä VSL-arvioilla.



Kuva 8. Sirontakartoituksen kuvaajat kustannustekijöiden mukaan jaoteltuna. Pystyakselilla kokonaiskustannusten hintaerotuksen ja vaakakselilla eri tekijöiden kokonaiskustannusten arvot.

6. YHTEENVETO

6.1 Tutkimuksen tavoitteiden ja tulosten vertailu

Työn tavoitteena oli selvittää, millaisia vaikutuksia Liiteri-palvelulla on liikennesuoritteisiin, -päästöihin sekä -talouteen, mutta kyselyvastausten vähäisyydestä johtuen näihin kysymyksiin ei voitu luotettavasti vastata. Suuntaa antava arvio näyttäisi liikennesuoritteiden, päästöjen kuin kustannustenkin olevan Liiterille suuntautuvilla asiointimatkoilla suurempia vaihtoehtoihin hankintatapoihin verrattuna. Kustannustekijöiden herkkyyss-analyysistä nähtiin kuitenkin, että tähän arvioon vaikuttaa etenkin liikkumiskustannusten laskennassa käytetyt lähtöarvot ja jossain määrin myös terveyshyötyjen laskennassa käytetty VSL-arvo. Liikennesuoritteiden eroavaisuudet voisivat myös viitata siihen, että Liitereitä on vielä niin harvassa, että matkat voivat ainoastaan tämän syyn vuoksi olla pidempiä verrattuna esim. moniin ostoskeskuksiin.

Alakysymysten osalta tavoitteet täyttyivät yleisellä tasolla varsin hyvin. Etenkin liikenne-päästöjen ja aktiivisen liikkumisen terveysvaikutuksien aihealue vaikuttaa kuitenkin olevan niin laaja-alainen, ettei yhden diplomityön alaluvut riitä kovin syvälliseen tarkasteluun lukuisten tutkimus- ja laskentamenetelmien vuoksi. Suomessa aihetta on onneksi kuitenkin jo kohtuullisen laajasti selvitetty ja arvioitu viranomaisten toimesta, joten laskentoja varten oli mahdollista käyttää varteenotettavia kustannusarvioita. Pakokaasupäästö-määrien osalta VTT:n ylläpitämä LIPASTO on hyvin käyttökelpoinen aineistolähde, joka sopii tämän kaltaisten yleisen tason tutkimusten tekoon erinomaisesti. Merkittävä päästölähde on kuitenkin autoliikenteen osalta vielä selkeästi määrittämättä, joten tässä työssä niin autoista kuin tienpinnasta kulumisen myötä syntyvät PM-päästöt jouduttiin arvioimaan monien eri lähteiden tietojen perusteella. Arvion oikeellisuutta on tässä yhteydessä mahdoton arvioida, joten asian suhteen tarvittaisiin vielä lisää tutkimustyötä.

Vaikka tutkimus ei pystynyt kaikilta osin vastaamaan ennalta asetettuihin tavoitteisiin, saatiin työn kautta kuitenkin tietoa tutkimusmenetelmän soveltumisesta tämän kaltaiseen tutkimukseen. Tämä on samalla ehkä myös työn merkittävin tulos, mikäli vastaavanlaisia selvityksiä aiotaan joskus toteuttaa. Tutkimukseen pitkälti ennalta asetetun tutkimusmenetelmän käyttö ei Liiterin kokoisen palvelun kohdalla ole kovin hyvin soveltuva, vaikka se onkin helposti toteutettavissa. Nykypäivänä erilaisia kyselytutkimuksia tunnutaan tekevän ehkä internetin mahdollistamien helppotekkoisten kyselylomakkeiden myötä varsin paljon, eikä kyselyihin saada kovin hyviä vastausprosentteja. Vastausaktiivisuu-

den perusteella tämän työn mukainen kysely ja otantamenetelmä veisikin todennäköisesti jopa vuosia riittävän vastausmäärän saamiseksi. Kyselyn lähettäminen yhdellä kertaa kaikille rekisteröityneille asiakkaille vaatisi kuitenkin lähestymistavan, jossa molempien hankintamatkojen osuudet tehtäisiin SP-kyselynä. Tällöin saatettaisiin saada laajempi edustavuus, mutta todennäköisesti tiedot etenkin matkojen yhdistelyn suhteen eivät vastaisi niin hyvin todellisia valintoja. Joidenkin tietojen laadun varmentamiseksi pitäisi tällöin toteuttaa esim. lyhyitä kohdennettuja RP-kyselyjä.

Tässä tutkimuksessa kyseessä kuitenkin oli vertailuasetelma, jossa Liiterin todelliset suoritteet suunniteltiin kerättäväksi pian käyntien jälkeen, jotta ne vastaisivat parhaansa mukaan oikeasti tehtyjä matkoja. Tästä syystä kysely oli paras toteuttaa pian asiointipahtumien jälkeen, jotta muistikuvat käytetyistä matkoista eivät ole vielä heikentyneet. Liiterimatkojen tiedot on kuitenkin mahdollista selvittää muillakin tavoilla. Koska asiointi ilman erityisjärjestelyitä käytännössä vaatii älypuhelimien käyttöä ovien avaamiseksi, pitäisi älypuhelimien ominaisuuksia pystyä hyödyntämään laajemmin. Sivuston käyttäjien paikkatietoja keräämällä saataisiin matkatietoja jo varsin laajalta käyttäjäjoukolta. Datan analysointia varten todennäköisesti on jo olemassa valmiit työkalut, joilla matkoista voisi selvittää käytetyt kulkutavat ja reitit. Datan täydentämiseksi ja osittain myös varmentamiseksi voisi satunnaisesti valikoitujen asiointien yhteyteen lisätä hyvin lyhyen esim. 1-5 kysymyksen kyselyn, jolla näitä tietoja asiakkailta tiedusteltaisiin. Taustatietojen keräämiseen henkilöllisyyden varmentamissa mahdollisesti kerätty sosiaaliturvatunnus kertoo itsessään iän sekä sukupuolen. Esimerkiksi kotiosoite on rekisteröitymisen yhteydessä annettava ja em. tietojen perusteella Traficomilta saisi myös ajokortti ja mahdollisesti autonomistukseen liittyvää tietoa, jolloin varsin monia tietoja olisi jo valmiiksi saatavilla analyysijä varten koko asiakaskunnasta. Lisäksi pidemmän ajan tiedonkeruu mahdollistaa joustavampien sekä laajempien analyysien tekoa, kun näitä varten voidaan luoda jopa reaaliajassa päivittyviä työkaluja, jolloin myös yritys itse näkee, miten esim. vuodenaajat vaikuttavat saavutettavuuteen eri kulkuvälineillä.

Vertailukohtana oli oletettu matkakohde vastaavan tuotteen hankkimiseksi, minkä selvittämiseksi kyselytutkimus on käytännössä ainut menetelmä. Näiden matkojen selvittämiseen olisi kuitenkin olemassa käyttökelpoisempiakin menetelmiä. Tämän työn yhteydessä havaittiin, että vaihtoehtoisten matkojen pituudet poikkesivat Google Mapsista tarkistettuja pituuksista vähemmän, kun vastaajia oli ohjeistettu käyttämään kyseistä palvelua vasta niiden selvittämisen yhteydessä, mutta tämän havainnon varmistaminen vaatisi myös lisäselvityksiä. Karttapalvelujen selkeä vahvuus kuitenkin on, että reitti voidaan määrittää niistä suoraan ja parhaimmillaan se antaa Google Mapsin tapaan jo val-

miit ehdotukset eri kulkutapojen mukaan, jolloin tämänkin tiedon kerääminen olisi selkeästi helpompaa. Vaihtoehtoisten hankintojen asiointipaikkoja voisi myös selvittää itsenäisesti esim. tuote- tai tuoteryhmäkohtaisesti ja verrata liikennesuoritteita Liiterille suuntautuviin asiointimatkoihin.

Tutkimuksesta muita havaittuja seikkoja oli matkojen pituuksien arvioimiseen liittyvät eroavaisuudet tarkistettujen matkojen välillä. Matkan pituutta yksinkertaisesti kyselyssä kysymällä tulee tämän kyselyn vastausten perusteella selkeä heitto. Suhteellinen virhe arvioissa oli keskimäärin 20–30 %, mikä vaikuttaa tämän tutkimuksen tulosten perusteella yllättävän paljon lopullisiin kustannusarvioihin. Virhe tasoittuu osittain toisten ali- ja toisten yliarvioidessa pituutta, mutta näin suuret heitot kuitenkin tekevät selkeitä eroja eri kulkumuotojen välille etenkin pientä aineistoa tarkastellessa. Todellisia reittivalintoja ei tietystikään voida todentaa ilman tarkempia mittausten menetelmiä, jolloin arvio virheen suuruudesta vaatisi lisäselvityksiä. Matkatietojen hankintaa varten on kuitenkin suositeltavaa hyödyntää esim. älypuhelimien paikkatietoa tai karttakyselyjä.

Keskeinen seikka tutkimuksen vertailuasetelman kannalta on kuitenkin, voiko suoraa vertailua käytännössä tehdä, ellei tiedetä laajemmalti asiakkaiden kulutuskäyttäytymisestä. Vuokrauspalvelun suurin etu ostoksiin verrattuna on harvoin käytettyjen ja pääomaa sitovien tuotteiden edullinen käyttö sekä etenkin suurien laitteiden osalta vähentynyt tarve säilytystilalle. Matkojen ja päästöjen vertailun kannalta eri hankintatapojen välinen eroavaisuus voi kuitenkin olla varsin merkittävä lopputuloksen kannalta. Matkojen ja niiden päästöjen kannalta vuokraustiheys voi yksinään kääntää tasapainon helposti ostoksen eduksi kahdenkin erillisen käyttökerran jälkeen. Toisaalta tarkastellessa yksittäisen tuotteen koko elinkaarta voi aktiivisessa vuokrauskäytössä oleva tuote supistaa tuotantopäästönsä käyttökertaa kohden hyvin pieniksi ennen käytöstä poistoaan verrattuna suurimman osan ajastaan varastossa olleeseen laitteeseen. Tarkastelunäkökulman laajuus vaikuttaa varsin merkittävästi vertailuasetelmaan ja sen tasapainoon, mutta laajuuden kasvaessa luonnollisesti myös muuttujat ja niihin liittyvät epävarmuustekijät lisääntyvät.

6.2 Työn validiteetti, reliabiliteetti ja jatkotutkimuskohteet

Tämän työn tutkimusmenetelmien validiteettia tarkasteltiin neljästä eri näkökulmasta, sillä tutkimuksen tuloksiin jäi selkeitä puutteita. Ensimmäiseksi työn loogisen eli koetun validiteetin näkökulmasta työ vaikuttaa antaneen sen suuntaisia tuloksia, joita käytetyillä menetelmillä on mahdollista saada tutkimuksen aikaisten rajoitusten vallitessa. Kyselyn olisi kuitenkin voinut toteuttaa myös toisella tapaa laajemmalle asiakasjoukolle, sillä lo-

pullisissa laskennoissa tarkastellaan lähinnä kokonaismuutoksia. Valitut kyselymenetelmät sinänsä eivät vaikuta vääriltä tai epävalideilta, mutta toisella tapaa tehtäessä tuloksien reliabiliteetti olisi saattanut olla parempi. Laskennoissa käytetyt menetelmät puolestaan vaikuttavat olevan jokseenkin valideja, mutta herkkyystarkastelua ja reliabiliteetin arviointia varten tarvittaisiin tarkempia tietoja useiden lähtöarvojen vaihteluväleistä.

Toiseksi sisäisen validiteetin kannalta työstä on selkeästi havaittavissa puutteita. Keskeisin näistä on vastauskato, joka saattoi osin johtua kyselyn pituudesta, mutta todennäköisempää on, että ongelman pääsyy on lyhyt kyselyjakso sekä kyselyn kohdistaminen vain vuokrauksia tehneille. Jälkimmäiseen oli selkeä perustelu työn reliabiliteetin kannalta, jonka tosin epäiltiin myös johtavan vähäiseen vastausmäärän etenkin, kun tutkimusjakson aloitus siirtyi suunniteltua myöhemmäksi. Myös vähäisten vastausmäärien vuoksi kaikki saadut vastaukset oli otettava mukaan analyysiin, vaikka vastauksista mahdollisesti havaittiin lievää vastausharhaa ja vastaajista osa teki kyselyn haastatteluna, jolloin lähtökohdat saattoivat olla muista vastaajista eroavaisia.

Kolmanneksi, ulkoisen validiteetin kannalta tutkimusta ei käytännössä voi oikeastaan edes arvioida, sillä vastausmäärien perusteella sekä oletetun perusjoukon eli koko Liite-rin asiakaskunnan tunnuslukujen puuttuessa, ei tämän työn tuloksia voida suoraan yleistää laajempaan populaatioon. Tutkimus edustaa vain suuntaa antavasti tutkimusjaksolla vastanneiden asiakkaiden valintoja, mutta tätä joukkoa laajentamalla sekä käytettyjä laskentamenetelmiä hyödyntämällä on kuitenkin mahdollisuus tuottaa valideja tuloksia, mikäli laskenta-arvot korjataan edustamaan tarkasteluhetken ajoneuvokantaa ja elinkustannusindeksiä. Näin ollen työn neljättä eli aineistovaliditeettia voidaan pitää varsin hyvänä, vaikka moniin lukuarvoihin sisältyy tiettyjä erisuuruisia epävarmuuksia, joista osalla on herkkyystarkastelun mukaan merkittävä vaikutus myös lopputuloksiin.

Lähtöarvojen riippuvuus tarkasteluhetkestä on kuitenkin hieman ongelmallinen työn reliabiliteetin stabiliteetin kannalta. Ajoneuvokannan liikennesuoritteet sekä päästöt ja elinkustannusindeksin muutokset eivät esim. autojen sähköistymisen ja automatisoitumisen myötä todennäköisesti korreloi keskenään, jolloin eri vuosien osalta tehdyt laskelmat täytyy laskea eri lähtöarvoilla. Korjattujen lopputuloksien kannalta tätä ongelmaa ei tosin muodostu, kun kyseessä on päästöjen ja kustannusten vertailu, joten tästä näkökulmasta tutkimus on reliaabeli.

Reliabiliteetin kannalta tuloksien tarkkuusongelmia aiheuttaa mm. vastaajien matkan pituuden arviointikyky, kun sen mittaamiseen käytetään kyselyä. Tarkistuksien perusteella parempia tuloksia saadaan todennäköisesti selvittämällä vain osoitetietoja tai hyödyntämällä esim. karttakyselyjä tai matkapuhelimien sijaintietoja. Kuten edellä on mainittu,

monet käytetyistä lähtöarvoista ovat sinänsä valideja käytettäväksi, mutta näiden osalta tarvittaisiin enemmän tietoa vaihteluväleistä, jotta tämänkin työn laskentaosuuden virhettä voitaisiin mitata tarkemmin. Varsinaisia vertailukohtia tutkimukselle ei ole olemassa, jolloin tuloksien reliabiliteetin arvioimista tätä kautta ei voida toteuttaa.

Jatkotutkimustarpeita löytyi tutkimusta tehdessä lukuisia, sillä monet työssä käsitellyistä aiheista vaikuttivat olevan joko hyvin laajoja tai tutkimuksissa vain vähän esiintyviä, jolloin aineistoista puuttuu esim. yksityiskohtaisempaa tai alueellista tietoa hyödynnettäväksi. Yhteiskäyttöisten tai yleisesti jakamistalouden palveluiden vaikutuksista liikenteeseen on liikennesektorin ulkopuolella hyvin vähän tutkittua tietoa saatavilla mahdollisesti sen vuoksi, että murrosvaihe on edelleen käynnissä. Suomen osalta olisi myös mielenkiintoista nähdä, kuinka tehokas nykyinen suurimpien kaupunkien palveluverkosto on liikenteen kannalta, jolloin tarvittaisiin yhdyskuntarakenteen laaja-alaista tarkastelua tavaravirtojen näkökulmasta. Tämänkin tutkimuksen kannalta olisi ollut hyödyllistä saada tarkempaa tietoa näiden tavaravirtojen kuljetuspäästöistä etenkin kaupunkilogistiikan osalta, minkä osalta tuoreita tutkimuksia Suomen tai Pohjois-Euroopan alueilta ei vaikuttanut löytyvän. Päästöjen ja etenkin kasvihuonekaasujen osalta tutkimuksen varrella pohdittiin myös aktiivisen liikkumisen tuottamien päästöjen arviointia, mutta aihetta ei ole juuri tutkittu, joten sen sisällyttäminen olisi ollut varsin kyseenalaista. Ajatus tarkastelusta on kuitenkin arkikäsitteen mukaan varteenotettava, sillä ihmisen energiankulutus ja keuhkojen kaasujen vaihto lisääntyvät sykkeen kohotessa, jolloin aktiivinen liikkuminen tuottaisi lepoon verrattuna enemmän CO₂:ta ja tämä lisätuotanto johtuisi yksinomaan kulkemisesta paikasta toiseen.

Viimeinen jatkotutkimusaihe liittyy laskentamenetelmien jalostamiseen ja etenkin niihin liittyvien epävarmuustekijöiden huomioimiseen. Tässäkin työssä havaittiin, että lähes kaikkiin laskujen osatekijöihin liittyy jonkin asteinen epävarmuus, ja tätä epävarmuutta voidaan kyllä myös mitata erinäisin tilastollisin menetelmin, mutta näiden käyttö on kohtuullisen työlästä ja monimutkaisempien mallien matriisien laskeminen voi vaatia tietokoneeltakin paljon laskentatehoa. Sumea logiikka ja sen laskennassa käytettävät sumeat joukot ja luvut voisivat jossain määrin jopa yksinkertaistaa tällaista laskentaa. Menetelmän omaksuminen vaatii hieman erilaisen lähestymistavan verrattuna tavanomaisiin tilastollisiin menetelmiin, joten sen soveltamisen mahdollisuuksia täytyisi ensin kartoittaa.

LÄHTEET

Acquier, A., Daudigeos, T. & Pinkse, J. (2017). Promises and paradoxes of the sharing economy: An organizing framework, *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 125, pp. 1-10.

Aertsens, J., de Geus, B., Vandenbulcke, G., Degraeuwe, B., Broekx, S., De Nocker, L., Liekens, I., Mayeres, I., Meeusen, R., Thomas, I., Torfs, R., Willems, H. & Int Panis, L. (2010). Commuting by bike in Belgium, the costs of minor accidents, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 42, Iss. 6, pp. 2149-2157.

Airbnb (2018). Fast Facts, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.11.2018): <https://press.airbnb.com/fast-facts/>.

Anttila, P. & Tuovinen, J. (2010). Trends of primary and secondary pollutant concentrations in Finland in 1994–2007, *Atmospheric Environment*, Vol. 44, Iss. 1, pp. 30-41.

Apostolaki-Iosifidou, E., Codani, P. & Kempton, W. (2017). Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging, *Energy*, Vol. 127, pp. 730-742.

Bäck, B. (2011). Ilokaasun turvallinen käyttö synnytyshuoneissa, 12 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-186-4>.

Barron, K., Kung, E. & Proserpio, D. (2017). The Sharing Economy and Housing Affordability: Evidence from Airbnb, *SSRN Electronic Journal*.

Belk, R. (2007). Why Not Share Rather than Own? *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, Vol. 611, Iss. 1, pp. 126-140.

Botsman, R. (2013). The Sharing Economy Lacks A Shared Definition, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.10.2018): <https://www.fastcompany.com/3022028/the-sharing-economy-lacks-a-shared-definition>.

Brown, T.C. & Gregory, R. (1999). Why the WTA–WTP disparity matters, *Ecological Economics*, Vol. 28, Iss. 3, pp. 323-335.

Buseck, P.R., Adachi, K., Gelencsér, A., Tompa, É & Pósfai, M. (2012). Are black carbon and soot the same? *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, Vol. 12, Iss. 9, pp. 24821-24846.

Chen, X., Zheng, H., Wang, Z. & Chen, X. (2018). Exploring impacts of on-demand ridesplitting on mobility via real-world ridesourcing data and questionnaires, *Transportation*, pp. 1-21.

Duce, R.A., LaRoche, J., Altieri, K., Arrigo, K.R., Baker, A.R., Capone, D.G., Cornell, S., Dentener, F., Galloway, J., Ganeshram, R.S., Geider, R.J., Jickells, T., Kuypers, M.M., Langlois, R., Liss, P.S., Liu, S.M., Middelburg, J.J., Moore, C.M., Nickovic, S., Oschlies, A., Pedersen, T., Prospero, J., Schlitzer, R., Seitzinger, S., Sorensen, L.L., Uematsu, M., Ulloa, O., Voss, M., Ward, B. & Zamora, L. (2008). Impacts of Atmospheric Anthropogenic Nitrogen on the Open Ocean, *Science*, Vol. 320, Iss. 5878, pp. 893-897.

EPA (2006). The Master List of Compounds Emitted by Mobile Sources, United States Environmental Protection Agency, 16 p. Saatavissa: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1004KHZ.PDF?Dockey=P1004KHZ.PDF>.

EPA (2016). EPA Fact Sheet: Social Cost of Carbon, United States Environmental Protection Agency, 5 p. Saatavissa: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/social_cost_of_carbon_fact_sheet.pdf.

EPA (2018a). Effects of Acid Rain, United States Environmental Protection Agency, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2018): <https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain>.

EPA (2018b). Sulfur Dioxide Basics, United States Environmental Protection Agency, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2018): <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>.

Esposito, M. & Tse, T. (2018). DRIVE: The Five Megatrends that Underpin the Future Business, Social, and Economic Landscapes, Thunderbird International Business Review, Vol. 60, Iss. 1, pp. 121-129.

Euroopan parlamentti & Euroopan unionin neuvosto (2008). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/50/EY, annettu 21 päivänä toukokuuta 2008, ilmanlaadusta ja sen parantamisesta. Saatavissa: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>.

Euroopan parlamentti & Euroopan unionin neuvosto (2009). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/30/EY, annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, direktiivin 98/70/EY muuttamisesta bensiinin, dieselin ja kaasuöljyn laatuvaatimusten osalta sekä kasvihuonekaasupäästöjen seurantaan ja vähentämiseen tarkoitetun mekanismin käyttöönoton osalta, neuvoston direktiivin 1999/32/EY muuttamisesta sisävesialusten käyttämien polttoaineiden laatuvaatimusten osalta ja direktiivin 93/12/ETY kumoamisesta. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009L0030>.

Fujii, S. & Garling, T. (2003). Application of attitude theory for improved predictive accuracy of stated preference methods in travel demand analysis, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 37, Iss. 4, pp. 389-402.

Gössling, S., Choi, A.S., Linnéuniversitetet, Ekonomihögskolan & Institutionen för organisation och entreprenörskap (2015). Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles, Ecological Economics, Vol. 113, pp. 106-113.

Granovskii, M., Dincer, I. & Rosen, M.A. (2006). Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles, Journal of Power Sources, Vol. 159, Iss. 2, pp. 1186-1193.

Grassmuck, V.R. (2012). The Sharing Turn: Why We are Generally Nice and Have a Good Chance to Cooperate our Way Out of the Mess We Have Gotten Ourselves Into, in: Sützl, W., Stalder, F., Maier, R. & Hug, T. (ed.), Cultures and Ethics of Sharing, Teilens innsbruck University Press, pp. 17-34.

Gynther, L., Tervonen, J., Hippinen, I., Lovén, K., Salmi, J., Soares, J., Torkkeli, S. & Tikka, T. (2012). Liikenteen päästökustannukset, Liikennevirasto, 188 s. Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/121226>.

Hänninen, O., Knol, A.B., Jantunen, M., Lim, T., Conrad, A., Rappolder, M., Carrer, P., Fanetti, A., Kim, R., Buekers, J., Torfs, R., Iavarone, I., Classen, T., Hornberg, C., Mekel, O.C.L., EBoDE Working Grp, EBoDE Working Group & the EBoDE Working Group (2014). Environmental burden of disease in Europe: Assessing nine risk factors in six countries, *Environmental health perspectives*, Vol. 122, Iss. 5, pp. 439-446.

Hänninen, O., Korhonen, A., Lehtomäki, H., Asikainen, A. & Rumrich, I. (2016). Ilmansaasteiden terveysvaikutukset, Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4604-6>.

Harmaala, M., Toivola, T., Faehnle, M., Manninen, P., Mäenpää, P. & Nylund, M. (2017). *Jakamistalous*, Alma Talent, Helsinki, 184 s.

Hawkins, T.R., Singh, B., Majeau-Bettez, G. & Strømman, A.H. (2013). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles, *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 17, Iss. 1, pp. 53-64.

Hedley, A.J., Wong, C., Thach, T.Q., Ma, S., Lam, T. & Anderson, H.R. (2002). Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study, *The Lancet*, Vol. 360, Iss. 9346, pp. 1646-1652.

Henschel, S., Querol, X., Atkinson, R., Pandolfi, M., Zeka, A., Le Tertre, A., Analitis, A., Katsouyanni, K., Chanel, O., Pascal, M., Bouland, C., Haluza, D., Medina, S. & Goodman, P.G. (2013). Ambient air SO₂ patterns in 6 European cities, *Atmospheric Environment*, Vol. 79, pp. 236-247.

Hensher, D.A. & Button, K.J. (2003). *Handbook of transport and the environment*, Elsevier, Boston, 827 p.

Hoor, P., Borken-Kleefeld, J., Caro, D., Dessens, O., Endresen, O., Gauss, M., Grewe, V., Hauglustaine, D., Isaksen, I.S.A., Jöckel, P., Lelieveld, J., Myhre, G., Meijer, E., Olivier, D., Prather, M., Schnadt Poberaj, C., Shine, K.P., Staehelin, J., Tang, Q., Van Aardenne, J., Van Velthoven, P. & Sausen, R. (2009). The impact of traffic emissions on atmospheric ozone and OH: Results from QUANTIFY, *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 9, Iss. 9, pp. 3113-3136.

Horowitz, J.K. & McConnell, K.E. (2002). A Review of WTA/WTP Studies, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 44, Iss. 3, pp. 426-447.

HSL (2017). Kaupunkipyörien asiakaskysely, Helsingin seudun liikenne, 33 s. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/kaupunkipyorien_asiakaskysely_2017_tulokset_hsl.pdf.

HSL (2018a). Liikennejärjestelmän julkistaloudellinen selvitys, Helsingin seudun liikenne, 50 s. Saatavissa: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/hsl_julkaisu_2_2018.pdf.

HSL (2018b). Tilinpäätös 2017, Helsingin seudun liikenne, 76 s. Saatavissa: https://kaupunkipyorat.hsl.fi/sites/default/files/2018-05/HSL_Tilinpäätös_2017.pdf.

Hueglin, C., Gaegauf, C., Künzel, S. & Burtscher, H. (1997). Characterization of wood combustion particles: Morphology, mobility, and photoelectric activity, *Environmental Science and Technology*, Vol. 31, Iss. 12, pp. 3439-3447.

IMO (2016). IMO sets 2020 date for ships to comply with low sulphur fuel oil requirement, International Maritime Organization, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.12.2018): <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/MEPC-70-2020sulphur.aspx>.

IMO (2018). Special Areas under MARPOL, International Maritime Organization, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.12.2018): <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Pages/Default.aspx>.

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC (2014). Climate change 2014: Impacts, Adaption, and Vulnerability - Summary for Policymakers, 32 p. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5_wgII_spm_en.pdf.

Jones, A.P. (1999). Indoor air quality and health, Atmospheric Environment, Vol. 33, Iss. 28, pp. 4535-4564.

JRC (2014). Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, WELL-TO-TANK (WTT) Report, Version 4a, 148 p. Saatavissa: <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec>.

Ju, Y., Back, K., Choi, Y. & Lee, J. (2018). Exploring Airbnb service quality attributes and their asymmetric effects on customer satisfaction, International Journal of Hospitality Management, Vol. 77, pp. 342-352.

Kahlmeier, S., Götschi, T., Cavill, N., Fernandez, A.C., Brand, C., Rueda, D.R., Woodcock, J., Kelly, P., Lieb, C., Oja, P., Foster, C., Rutter Harry & Racioppi, F. (2017). Health economic assessment tool (HEAT) for walking and for cycling. Methods and user guide on physical activity, air pollution, injuries and carbon impact assessments, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen Ø, Denmark, 86 p. Saatavissa: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/352963/Heat.pdf.

Kalenoja, H. & Kallberg, H. (2006). Liikenteen ympäristövaikutukset, 2. korj. p. ed., Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 206 s.

Karvosenoja, N., Kangas, L., Kupiainen, K., Kukkonen, J., Karppinen, A., Sofiev, M., Tainio, M., Paunu, V., Ahtoniemi, P., Tuomisto, J.T. & Porvari, P. (2011). Integrated modeling assessments of the population exposure in Finland to primary PM^{sub 2.5} from traffic and domestic wood combustion on the resolutions of 1 and 10 km, Air Quality, Atmosphere, & Health, Vol. 4, Iss. 3-4, pp. 179-188.

Karvosenoja, N., Tainio, M., Kupiainen, K., Tuomisto, J.T., Kukkonen, J. & Johansson, M. (2008). Evaluation of the emissions and uncertainties of PM_{2.5} originated from vehicular traffic and domestic wood combustion in Finland, Boreal Environment Research, Vol. 13, pp. 465-474.

Kasnatscheew, A., Heini, F., Schoenebeck, S., Lerner, M. & Hosta, P. (2016). Review of European Accident Cost Calculation Methods – With Regard to Vulnerable Road Users, InDeV: In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users, HORIZON 2020 - the Framework Programme for Research and Innovation, Project No.

635895 — InDeV, 73 p. Saatavissa: https://www.indev-project.eu/InDeV/EN/Documents/pdf/review-cost-calculation.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Kaur, S., Nieuwenhuijsen, M.J. & Colville, R.N. (2007). Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments, *Atmospheric Environment*, Vol. 41, Iss. 23, pp. 4781-4810.

Keuken, M., Roemer, M. & van den Elshout, S. (2009). Trend analysis of urban NO₂ concentrations and the importance of direct NO₂ emissions versus ozone/NO_x equilibrium, *Atmospheric Environment*, Vol. 43, Iss. 31, pp. 4780-4783.

Krzyzanowski, M., Kuna-Dibbert, B. & Schneider, J. (2005). Health effects of transport-related air pollution, World Health Organization, Europe, 205 p. Saatavissa: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/74715/E86650.pdf

Lamarche-Gagnon, G., Wadham, J.L., Lollar, B.S., Arndt, S., Fietzek, P., Beaton, A.D., Tedstone, A.J., Telling, J., Bagshaw, E.A., Hawkings, J.R., Kohler, T.J., Zarsky, J.D., Mowlem, M.C., Anesio, A.M. & Stibal, M. (2019). Greenland melt drives continuous export of methane from the ice-sheet bed, *Nature*, Vol. 565, Iss. 7737, pp. 73-77.

Lappi, M. & Rihko, L. (1996). Moottoriajoneuvojen sääntelemättömät pakokaasupäästöt: merkitys ja mittaustekniikka, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 168 s.

Laurikko, J. (1992). Henkilöautojen pakokaasupäästöt ja niiden vähentämisen tekniikka, Auto- ja työkonetekniikan tutkimusraportti 1992/1, Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Autotekniikan laboratorio, Otaniemi, Espoo, Suomi, 91 s.

Lehtomäki, H., Asikainen, A., Rumrich, I. & Hänninen, O. (2015). Ilmansaasteiden tautitaakka Suomessa, Terveysten ja hyvinvoinnin laitos (THL), 57 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201601122444>.

Leppikangas, S. (2015). Yksityisautoilun kustannusrakenteen ja kokonaiskustannusten selvittäminen, 36 s. + liitt. 1 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015061813605>.

Liikennevirasto (2018a). Henkilöliikennetutkimus 2016, Liikennevirasto, Helsinki, 130 s. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/liti_2018-01_henkiloliikennetutkimus_2016_web.pdf.

Liikennevirasto (2018b). Yhteiskäyttöautojen potentiaali ja vaikutukset käyttäjänäkökulmasta - Loppuraportti, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2018, 63 s. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2018-25_yhteiskayttoautojen_web.pdf.

Liiteri (2018). Liiteri-palvelun kotisivut, Coreorient Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.9.2018): <http://liiteri.net/>.

Lu, H., Lin, B., Campbell, D.E., Sagisaka, M. & Ren, H. (2012). Biofuel vs. biodiversity? Integrated energy and economic cost-benefit evaluation of rice-ethanol production in Japan, *Energy*, Vol. 46, Iss. 1, pp. 442-450.

Martin, E. & Shaheen, S. (2016). The Impacts of Car2go on Vehicle Ownership, Modal Shift, Vehicle Miles Traveled, and Greenhouse Gas Emissions: An Analysis of Five North American Cities, 25 s. Saatavissa: http://innovativemobility.org/wp-content/uploads/2016/07/Impactsofcar2go_FiveCities_2016.pdf.

Morawska, L., Moore, M., R. & Ristovski, Z.D. (2004). Health Impacts of Ultrafine Particles: Desktop Literature Review and Analysis, Australian Government Department of the Environment and Heritage, 311 p. Saatavissa: <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/00dbec61-f911-494b-bbc1-adc1038aa8c5/files/health-impacts.pdf>.

Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Cole-Hunter, T., de Nazelle, A., Dons, E., Gerike, R., Götschi, T., Int Panis, L., Kahlmeier, S. & Nieuwenhuijsen, M. (2015). Health impact assessment of active transportation: A systematic review, *Preventive medicine*, Vol. 76, pp. 103-114.

Münzel, T., Gori, T., Babisch, W. & Basner, M. (2014). Cardiovascular effects of environmental noise exposure, *European heart journal*, Vol. 35, Iss. 13, pp. 829-836.

Nam, E.K., Jensen, T.E. & Wallington, T.J. (2004). Methane Emissions from Vehicles, *Environmental Science and Technology*, Vol. 38, Iss. 7, pp. 2005-2010.

Noordzij, M., van Diepen, M., Caskey, F.C. & Jager, K.J. (2017). Relative risk versus absolute risk: one cannot be interpreted without the other, *Nephrol Dial Transplant*, Vol. 32, Iss. suppl_2, pp. 13-18.

OECD (2006). *Economic Valuation of Environmental Health Risks to Children*, OECD Publishing, Paris, 310 p.

Paloheimo, H. (2018). Arjen kestävät palvelut asemanseuduille -projektin projektisuunnitelma, Coreorient Oy, julkaisematon selvitys, 15 s.

Pant, P. & Harrison, R.M. (2013). Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review, *Atmospheric Environment*, Vol. 77, pp. 78-97.

Peltola, H., Airaksinen, N. & Sintonen, H. (2018). Tieliikenteen vakavat henkilövahingot: Liikenneturvallisuuustyön suuntaaminen vakavat loukkaantumiset huomioon ottaen, *Liikennevirasto*, 55 s. + liit. 4 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:978-952-317-503-7>.

Pirjola, L., Paasonen, P., Pfeiffer, D., Hussein, T., Hämeri, K., Koskentalo, T., Virtanen, A., Rönkkö, T., Keskinen, J., Pakkanen, T.A. & Hillamo, R.E. (2006). Dispersion of particles and trace gases nearby a city highway: Mobile laboratory measurements in Finland, *Atmospheric Environment*, Vol. 40, Iss. 5, pp. 867-879.

Posti Group Oyj (2017). *Postin vuosikertomus 2016*, 308 s. Saatavissa: <https://www.posti.com/globalassets/corporate-governance/reports/2016/vuosikertomus-2016.pdf>.

PricewaterhouseCoopers (2017). *Jakamistalous Suomessa 2016 – Nykytila ja kasvunäkymät, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu - yritykset 9/2017*, 30 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-196-8>.

Rabl, A. (2003). Interpretation of Air Pollution Mortality: Number of Deaths or Years of Life Lost? *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 53, Iss. 1, pp. 41-50.

Rita, H. (2004). Vetosuhde (odds ratio) ei ole todennäköisyyksien suhde, *Metsätieteen aikakauskirja*, Iss. 2/2004, pp. 207-212.

Rita, H. & Virtala, A. (2013). Termien odds ja odds ratio tulkinnasta: "Veren alhainen immunoglobuliini G-pitoisuus kaksinkertaistaa vasikoiden keuhkokuumeepaineen", Suomen Eläinlääkärilehti, Vol. 119, Iss. 2, pp. 67-75.

Robinson, L.A. & Hammitt, J.K. (2011). Behavioral Economics and the Conduct of Benefit-Cost Analysis: Towards Principles and Standards, Journal of Benefit-Cost Analysis, Vol. 2, Iss. 5, pp. 1-51.

Rout, P., Das, R. & Das, S.N. (2005). Rise in nitrous oxide levels due to fossil fuel combustion in urban atmosphere, Journal of Scientific and Industrial Research, Vol. 64, Iss. 1, pp. 46-52.

Ruser, R., Flessa, H., Russow, R., Schmidt, G., Buegger, F. & Munch, J.C. (2006). Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: Effect of compaction, soil moisture and rewetting, Soil Biology and Biochemistry, Vol. 38, Iss. 2, pp. 263-274.

Sahlqvist, S., Goodman, A., Cooper, A.R., Ogilvie, D., iConnect Consortium, iConnect consortium & on behalf of the iConnect consortium (2013). Change in active travel and changes in recreational and total physical activity in adults: Longitudinal findings from the iConnect study, International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, Vol. 10, Iss. 1, pp. 28-38.

Salako, G.O., Hopke, P.K., Cohen, D.D., Begum, B.A., Biswas, S.K., Pandit, G.G., Chung, Y., Rahman, S.A., Hamzah, M.S., Davy, P., Markwitz, A., Shagjamba, D., Lodoysamba, S., Wimolwattanapun, W. & Bunprapob, S. (2012). Exploring the variation between EC and BC in a variety of locations, Aerosol and Air Quality Research, Vol. 12, Iss. 1, pp. 1-7.

Sarofim, M.C., Waldhoff, S.T. & Anenberg, S.C. (2017). Valuing the Ozone-Related Health Benefits of Methane Emission Controls, Environmental and Resource Economics, Vol. 66, Iss. 1, pp. 45-63.

Savolahti, M., Kangas, L., Karppinen, A., Karvosenoja, N., Kukkonen, J., Lanki, T., Nurmi, V., Palamarchuk, Y., Paunu, V., Sofiev, M. & Tiittanen, P. (2018). Ilmansaasteiden haittakustannusmalli Suomelle (IHKU), Valtioneuvoston kanslia, 51 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-530-3>.

Schmied, M. & Knörr, W. (2012). Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services, European Association for Forwarding, Transport, Logistics and Customs Services (CLECAT), 63 p. Saatavissa: https://www.clecat.org/media/CLECAT_Guide_on_Calculating_GHG_emissions_for_freight_forwarding_and_logistics_services.pdf.

Sethi, R. (2013). Ozone and ozone depletion: sources, environmental impact, and health, Nova Publishers, New York, 268 p.

Soimakallio, S., Hildén, M., Lanki, T., Eskelinen, H., Karvosenoja, N., Kuusipalo, H., Lepistö, A., Mattila, T., Mela, H., Nissinen, A., Ristimäki, M., Rehunen, A., Repo, A., Salonen, R., Savolahti, M., Seppälä, J., Tiittanen, P. & Virtanen, S. (2017). Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman ympäristövaikutusten arviointi, Valtioneuvoston kanslia, 54 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-444-3>.

Statbel (2019). Nombre de tués, blessés graves, blessés légers et victimes indemnes d'accidents de la route, par classe d'âges, genre d'utilisateur, sexe et diverses

caractéristiques de l'accident, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.1.2019): <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=5f1235c3-fa23-4878-a26c-c1a753bdd2cd>.

Sunyer, J., Atkinson, R., Ballester, F., Le Tertre, A., Ayres, J.G., Forastiere, F., Forsberg, B., Vonk, J.M., Bisanti, L., Anderson, R.H., Schwartz, J., Katsouyanni, K. & APHEA 2 study (2003). Respiratory effects of sulphur dioxide: a hierarchical multicity analysis in the APHEA 2 study, *Occupational and environmental medicine*, Vol. 60, Iss. 8, pp. e2.

Syakila, A. & Kroeze, C. (2011). The global nitrous oxide budget revisited, *Greenhouse Gas Measurement and Management*, Vol. 1, Iss. 1, pp. 17-26.

The World Bank & OECD/IEA (2018). Electric power transmission and distribution losses (% of output), Finland 2010-2014, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.1.2019): https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS?end=2014&fbclid=IwAR1RenB-_5qx0DkXj_rHi5KuK22e16nhhgebkWMv5nNZxTAgrMumexlCdMQ&locations=FI&start=2010.

Tilastokeskus (2016). Suomen virallinen tilasto: Ilmapäästöt toimialoittain, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.11.2018): http://www.stat.fi/til/tilma/2016/tilma_2016_2018-09-26_tie_001_fi.html.

Tilastokeskus (2019a). Rahanarvonmuunnin, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.4.2019): <http://www.tilastokeskus.fi/tup/laskurit/rahanarvonmuunnin.html>.

Tilastokeskus (2019b). Suomen virallinen tilasto: Moottoriajoneuvokanta 2018, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.4.2019): <http://www.stat.fi/til/mkan/tau.html>.

Tilastokeskus (2019c). Suomen virallinen tilasto: Väestörakenne, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 28.4.2019): <https://www.stat.fi/til/vaerak/index.html>.

Tol, R.S.J. (2012). A cost-benefit analysis of the EU 20/20/2020 package, *Energy Policy*, Vol. 49, pp. 288-295.

Traficom (2018). Ajoneuvojen avoin data 5.4 -aineisto, lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.4.2019): <https://www.traficom.fi/fi/tilastot-ja-julkaisut/avoin-data>.

Transport & Environment (2018). CO2 emissions from cars: The facts, 52 p. Saatavissa: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2018_04_CO2_emissions_cars_The_facts_report_final_0_0.pdf.

Tussyadiah, I.P. & Pesonen, J. (2016). Impacts of Peer-to-Peer Accommodation Use on Travel Patterns, *Journal of Travel Research*, Vol. 55, Iss. 8, pp. 1022-1040.

Työterveyslaitos (2015). OVA-ohje: Hiilimonoksidi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.11.2018): <http://www.ttl.fi/ova/hiilimono.html>.

Työterveyslaitos (2017a). OVA-ohje: Hiilidioksidi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.11.2018): <http://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.html>.

Työterveyslaitos (2017b). OVA-ohje: Metaani, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.12.2018): <http://www.ttl.fi/ova/metaani.html>.

Työterveyslaitos (2017c). OVA-ohje: Rikkidioksidi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.12.2018): <http://www.ttl.fi/ova/rikkidio.html>.

UCAR (2012). Carbon Dioxide Absorbs and Re-emits Infrared Radiation, University Corporation for Atmospheric Research, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.11.2018): <https://scied.ucar.edu/carbon-dioxide-absorbs-and-re-emits-infrared-radiation>.

UNEP (2013). Drawing Down N₂O to Protect Climate and the Ozone Layer, A UNEP Synthesis Report. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 76 p. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/20.500.11822/8489>.

UNEP & WMO (2011). Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone, The United Nations Environment Programme & World Meteorological Organization, 285 p.

Valerio, F., Stella, A., Pala, M., Balducci, D., Piccardo, M.T. & Cipolla, M. (2009). The effect of EURO-0 vehicle substitution on polycyclic aromatic hydrocarbon and carbon monoxide concentrations in an urban area, *Atmospheric Environment*, Vol. 43, Iss. 8, pp. 1520-1526.

Viana, M., Kuhlbusch, T.A.J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R.M., Hopke, P.K., Winiwarter, W., Vallius, M., Szidat, S., Prévôt, A.S.H., Hueglin, C., Bloemen, H., Wählin, P., Vecchi, R., Miranda, A.I., Kasper-Giebl, A., Maenhaut, W. & Hitenberger, R. (2008). Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results, *Journal of Aerosol Science*, Vol. 39, Iss. 10, pp. 827-849.

Virtanen, A., Rönkkö, T., Kannosto, J., Ristimäki, J., Mäkelä, J.M., Keskinen, J., Pakkanen, T., Hillamo, R., Pirjola, L. & Hämeri, K. (2006). Winter and summer time size distributions and densities of traffic-related aerosol particles at a busy highway in Helsinki, *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 6, Iss. 9, pp. 2411-2421.

VTT (2017). Suomen kotimaanliikenteen päästöt ja energiankäyttö vuonna 2016, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.11.2018): <http://www.lipasto.vtt.fi/kaikki/kaikki2016.htm>.

VTT (2019a). LIISA - Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä, 8 s. Saatavissa: http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa_menetelma.pdf.

VTT (2019b). LIPASTO - Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.3.2019): <http://lipasto.vtt.fi/index.htm>.

VTT (2019c). RAILI - Suomen rautaliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2019): <http://lipasto.vtt.fi/raili/index.htm>.

Wallington, T.J. & Wiesen, P. (2014). N₂O emissions from global transportation, *Atmospheric Environment*, Vol. 94, pp. 258-263.

Wang, P., Deng, X., Zhou, H. & Yu, S. (2019). Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 209, pp. 1494-1507.

WHO (1992). *Motor Vehicle Air Pollution - Public Health Impact and Control Measures*, Geneva, Switzerland, 250 p. Saatavissa: http://libdoc.who.int/hq/1992/WHO_PEP_92.4_eng.pdf.

WHO (2003). *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*, Bonn, Germany, 95 p. Saatavissa: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf.

WHO (2013). *WHO methods and data sources for global burden of disease estimates, 2000–2011*, World Health Organization, 90 p. Saatavissa: https://www.who.int/healthinfo/statistics/GlobalDALYmethods_2000_2011.pdf.

WHO (2015). *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth*, World Health Organization, 66 p. Saatavissa: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf.

WHO (2019). *Classification of Diseases, 11th Revision (ICD-11)*, World Health Organization, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.1.2019): <https://www.who.int/classifications/icd/en/>.

WHO (2006). *Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*, World Health Organization, Europe, 484 p.

Wijnen, W., Weijermars, W., Schoeters, A., van den Berghe, W., Bauer, R., Carnis, L., Elvik, R. & Martensen, H. (2019). An analysis of official road crash cost estimates in European countries, *Safety Science*, Vol. 113, pp. 318-327.

WMO (2010). *Volume IV - Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases*, 101 p. Saatavissa: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/pub/products/summary/sum34/sum34.pdf>.

Zervas, G., Proserpio, D. & Byers, J.W. (2017). The Rise of the Sharing Economy: Estimating the Impact of Airbnb on the Hotel Industry, *Journal of Marketing Research*, Vol. 54, Iss. 5, pp. 687-705.

Zuurbier, M., Hoek, G., Oldenwening, M., Lenters, V., Meliefste, K., Peter van den Hazel & Brunekreef, B. (2010). Commuters' Exposure to Particulate Matter Air Pollution Is Affected by Mode of Transport, Fuel Type, and Route, *Environmental health perspectives*, Vol. 118, Iss. 6, pp. 783-789.

LIITE A: KYSELYTUTKIMUKSEN LOMAKE LIITERI-PALVELUN KÄYTTÄJILLE

Kyselytutkimus Liiterin asiakkaiden liikkumisesta

Liiteri.net -palvelua ylläpitävä ja halliniva CoReorient Oy selvittää yhteistyössä Tampereen yliopiston, Liikenteen tutkimuskeskus Vernen kanssa Liiteri.net -palvelun vaikutuksia käyttäjiensä liikkumiseen tämän kyselytutkimuksen avulla. Osallistuminen on vapaaehtoista, mutta toivomme sinun osallistuvan tutkimukseen, sillä jokainen saatu vastaus parantaa tutkimuksen luotettavuutta ja laatua. Kyselyyn vastaamiseen kuluu aikaa n. 5-15 minuuttia.

Kaikkien vastanneiden ja yhteystietonsa jättäneiden kesken arvotaan kevään 2019 aikana lahjakorttina 3kk Liiterin käyttöä. Arvontaa varten annettuja yhteystietoja ei voida yhdistää varsinaisen kyselytutkimuksen vastauksiin.

Tutkimustulokset julkaistaan erilaisina taulukkoina ja kaavioina, eikä niistä voida päätellä kenenkään vastaajan antamia yksittäisiä tietoja. Tutkimukseen on valittu tarkasteluajanjaksona kaikki Liiteristä tuotteita vuokranneet asiakkaat. Osallistumalla tutkimukseen voitte antaa tietoa siitä, miten tämä yhteiskäyttöpalvelu vaikuttaa vuokrattavana olevien eri tuotetyyppien hankintamatkoihin ja miten Liiteri on saavutettavissa.

Vastaamalla kyselyyn annat luvan käyttää antamiasi tietoja tutkimuksessa. Tietoja käytetään tutkimuksen tekemiseen, eikä niitä luovuteta eteenpäin kolmansille osapuolille. Lisätietoja tietosuojasta löytyy Liiterin verkkosivulta: <http://liiteri.net/fi/tietosuoja/>

Tutkimus on osa opinnäytetyötä, joka julkaistaan tutkimuksen valmistuttua. Lisätietoja tutkimuksesta antaa julkaistavan opinnäytetyön tekijä Juhana Polojärvi (etunimi.sukunimi@tuni.fi) Liikenteen tutkimuskeskus Vernestä.

The survey can also be done in english: <https://goo.gl/forms/> [REDACTED]

***Pakollinen**

Vuokraamasi tuotteen tyyppi?

Valitse yksi tai useampi vaihtoehtoista.

1. *

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- ☐ Suojain (esim. hengitys- tai kuulosuojain, suojalasit tai -käsineet)
- ☐ Tikkaat, nokkakärky, työpenkki, pistolapio tai hallitunkki
- ☐ Riippumatto, retkituoli, pyöränpumppu, jatkojohtokela
- ☐ Polkupyörä tai sen perävaunu
- ☐ Pieni sähkötyökalu tai -laite (esim. ruuvinväännin, otsalamppu, rakennetunnistin, akkulaturi)
- ☐ Keskikokoinen sähkötyökalu- tai laite (sähkösahat, ikkunapesuri, hiomakoneet, porakoneet, työmaavalo, vohvelirauta, popcorn-laite, hedelmäkuivuri)
- ☐ Iso sähkötyökalu tai -laite (esim. paine- tai tekstiilipesurit, imurit, savustin, jyvämylly, ompelukone, kylmälaukku)
- ☐ Käsikäyttöinen pientyökalu tai -sarja (esim. vasarat, pihdit, avaimet, rullamitta, vatupassi, sahat, puristimet, puukko)

- ☐ Pientarvikkeet (veitsenteroitin, voiteluspray, kuormaliinat, pallopumppu)
- ☐ Liikuntaväline tai pelisetti (esim. pallot, frisbeegolf-setti, mölkky, mailat, kahvakuula ym.)
- ☐ Muu: _____

Mistä Liiteristä vuokrasit tuotteen?

2. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Teurastamo
- ☐ Kivistö
- ☐ Oulunkylä
- ☐ Lempäälä
- ☐ Vuosaari (ASO)

Minä viikonpäivänä teit vuokrauksen?

3. *Merkitse vain yksi soikio.*

- ☐ maanantaina
- ☐ tiistaina
- ☐ keskiviikkona
- ☐ torstaina
- ☐ perjantaina
- ☐ lauantaina
- ☐ sunnuntaina

Mihin kellonaikaan vuokraus tapahtui?

Anna vastaus muodossa [hh.mm](#) (esim. 16.25)

4.

Arvio kilometreinä (km), kuinka pitkän yhdensuuntaisen matkan kuljit Liiteriltä kohteeseen, jossa tarvitsit vuokraamaasi tuotetta (esim. koti, työpaikka).

Anna vastaukseksi lukuarvo (esim. 3 tai 1,2).

5. *

Mikä on tämän kohteen katuosoite?

Ilmoita kadun nimi sekä osoitenumero (esim. Hämeentie 3). Rapun kirjainta tai asunnon numeroa ei tarvitse ilmoittaa.

6.

Minkä kunnan/kaupungin alueella tämä osoite sijaitsee?

7.

Noutomatkan kulkutapa

Millä kulkutavalla matkustit suurimman osan noutomatkan pituudesta?

Eli sen saman yhdensuuntaisen matkan, jonka kuljit Liiteriltä paikkaan, jonne kuljetit vuokraamasi tuotteen käytettäväksi (esim. kotiin, työpaikalle).

8. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ kävellen
- ☐ polkupyörällä
- ☐ henkilöautolla
- ☐ bussilla
- ☐ raitiovaunulla
- ☐ metrolla
- ☐ lähi- tai kaukojunalla
- ☐ Muu:

Matkojen yhdistely

Haitko tuotteen jonkin toisen matkan (esim. työmatkasi) varrella tai yhteydessä vai teitkö matkan Liiterille vain noutaaksesi tarvitsemasi tuotteen?

9. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Toisen matkan varrella tai yhteydessä
- ☐ Tein matkan vain noutaakseni tarvitsemani tuotteen Liiteristä

Vaihtoehtoinen hankinta

Mikäli Liiteri-palvelua ei olisi ollut saatavilla, olisitko hankkinut vastaavan tuotteen omaksi tai käyttöösi?

10. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Kyllä, olisin ostanut vastaavan tuotteen omaksi. *Siirry kysymykseen 12.*
- ☐ Kyllä, olisin hankkinut vastaavan tuotteen käyttööni (esim. vuokrannut tai lainannut).
Siirry kysymykseen 12.
- ☐ En *Siirry kysymykseen 11.*
- ☐ En osaa sanoa *Siirry kysymykseen 11.*

Arvioi kuitenkin, miten saattaisit tämän hankinnan tehdä.

Tilaisitko tuotteen (esim. verkkokaupasta) toimitettavaksi suoraan perille vai noudettaisiinko tuote liikkeestä tai esim. postin noutopisteestä?

11. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Tilaisin toimitettavaksi suoraan perille. *Siirry kysymykseen 18.*
- ☐ Tuote noudettaisiin. *Siirry kysymykseen 13.*

Tuotteen hankinta

Tilaisitko tuotteen (esim. verkkokaupasta) toimitettavaksi suoraan perille vai noudettaisiinko tuote liikkeestä tai esim. postin noutopisteestä?

12. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Tilaisin toimitettavaksi perille. *Siirry kysymykseen 18.*
- ☐ Tuote noudettaisiin.

Vaihtoehtoinen noutomatka

Mistä paikasta tuote noudettaisiin?

Ilmoita paikan (esim. kaupan, liikkeen tai ostoskeskuksen) nimi.

Voit hyödyntää myös esim. Google Mapsia (<https://www.google.com/maps>) paikan selvittämiseksi.

13. *

Minkä kunnan/kaupungin alueella tämä paikka sijaitsee?

14.

Arvioi kilometreinä (km), kuinka pitkä yhdensuuntainen matka tuotteen noutamiseksi jouduttaisiin tällöin tekemään.

Anna vastauksesi lukuarvo (esim. 3 tai 1,2)

15. *

Arvioi, millä kulkutavalla matka todennäköisimmin tehtäisiin.

Valitse vaihtoehdoista se, jota käytettäisiin suurin osa matkan pituudesta.

16. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ kävellen
- ☐ polkupyörällä
- ☐ henkilöautolla
- ☐ bussilla
- ☐ raitiovaunulla
- ☐ metrolla
- ☐ lähi- tai kaukojunalla
- ☐ Muu: _____

Noudettaisiinko tuote todennäköisemmin jonkin toisen matkan (esim. työmatkan) varrella tai yhteydessä vai tehtäisiinkö matka vain tuotteen noutamiseksi?

17. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Toisen matkan varrella tai yhteydessä
- ☐ Matka tehtäisiin vain tuotteen noutamiseksi.

Siirry kysymykseen 18.

Kuinka sujuvaksi koit noutomatkan Liiteriltä tuotteen käyttöpaikkaan vuokrauksen jälkeen?

18. *Merkitse vain yksi soikio.*

	1	2	3	4	5	
Ei lainkaan sujuva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Erittäin sujuva

Kuinka sujuvaksi koit matkan takaisin Liiterille palauttaaksesi tuotteen?

19. *Merkitse vain yksi soikio.*

	1	2	3	4	5	
Ei lainkaan sujuva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Erittäin sujuva

Palautitko tuotteen jonkin toisen matkan (esim. työmatkasi) varrella tai yhteydessä vai teitkö matkan vain palauttaaksesi tarvitsemasi tuotteen?

20. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Toisen matkan varrella tai yhteydessä
- ☐ Tein matkan vain palauttaakseni tarvitsemani tuotteen.

Palautusmatka

Minä viikompäivänä teit palautuksen?

21. Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ maanantaina
- ☐ tiistaina
- ☐ keskiviikkona
- ☐ torstaina
- ☐ perjantaina
- ☐ lauantaina
- ☐ sunnuntaina

Mihin kellonaikaan palautus tehtiin?

Anna vastaus muodossa [hh.mm](#) (esim. 19.55)

22.

Olivatko käyttämäsi reitti ja kulkutavat palautusmatkalla lähes samat kuin hakumatkalla?

23. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Kyllä Siirry kysymykseen 25.
- ☐ Eivät
- ☐ En osaa sanoa

Palautusmatkan kulkutapa

Millä kulkutavalla matkustit suurimman osan palautusmatkan pituudesta?

24. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ kävellen
- ☐ polkupyörällä
- ☐ henkilöautolla
- ☐ bussilla
- ☐ raitiovaunulla
- ☐ metrolla
- ☐ lähi- tai kaukojunalla
- ☐ Muu: _____

Taustatiedot

Näitä tietoja kerätään vastausten tilastollista käsittelyä varten.

Syntymävuotesi?

25. *

Sukupuoli

26. Merkitse vain yksi soikio.

☐

Nainen

☐

Mies

☐

Muu:

Työtilanteesi?

Voit valita useita vaihtoehtoja

27. Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

☐

Kokoaikatyö (vähintään 30h viikossa)

☐

Osapäivä/-aikatyö (alle 30h viikossa)

☐

Vaihtelevasti

☐

Kausittain (esim. kesäisin)

☐

2. asteen opiskelija (lukiolainen, ammattikoululainen tai muu vastaava)

☐

Korkeakouluopiskelija (yliopisto, ammattikorkeakoulu tai muu vastaava)

☐

Suoritan ase- tai siviilipalvelusta

☐

Eläkeläinen

☐

Työtön

☐

Muu:

Kuinka monta henkeä kotitalouteenne kuuluu itsesi mukaan lukien?

28.

Asutteko?

29. Merkitse vain yksi soikio.

☐

kerrostalossa

☐

rivi- tai paritalossa

☐

omakotitalossa

☐

Muu:

Kuinka suuret ovat taloutenne yhteenlasketut tulot euroina, veroja vähentämättä (bruttotulot)?

Voit antaa vastauksen joko kuukausi- tai vuosituloina.

30.

31. *Merkitse vain yksi soikio.*

- ☐ kuukaudessa
☐ vuodessa

Kuinka monta henkilöautoa taloudessanne on vakituisesti käytettävissä?

Mukaan luetaan talouden omistamat, yli 1kk sopimuksilla vuokratut autot sekä työsuhdeautot.

32. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ Ei yhtään
☐ Yksi auto
☐ Kaksi autoa
☐ Enemmän kuin kaksi autoa

Kuinka usein sinulla on käytettävissä auto matkoihisi niin, että ajat itse?

33. *

Merkitse vain yksi soikio.

- ☐ aina tai lähes aina
☐ silloin tällöin
☐ hyvin harvoin
☐ ei koskaan

Onko sinulla jotain seuraavista?

Voit valita useita vaihtoehtoja.

34. *

Valitse kaikki sopivat vaihtoehdot.

- ☐ Voimassa oleva henkilöauton ajamiseen oikeuttava ajokortti
- ☐ Joukkoliikenteen matkakortti, jossa on voimassa oleva kausilippu (esim. HSL, Nysse, Waltti, VR, Matkahuolto)
- ☐ Joukkoliikenteen matkakortti, jolla on arvoa (eli rahaa)
- ☐ Jokin liikkumista haittaava este
- ☐ Ei mitään näistä

Kiitos vastauksistasi!

Tutkimuksen tulokset ovat nähtävissä osana opinnäytetyötä, joka julkaistaan Tampereen yliopiston julkaisuarkistossa kevään 2019 aikana.

Mikäli haluat osallistua lahjakortin (3kk Liiterin käyttöä) arvontaan, jätä yhteystietosi erilliseen kyselyyn lähetettyäsi vastauksesi.

Näitä tietoja ei voida yhdistää tämän kyselyn vastauksiin.

Voit halutessasi antaa palautetta kyselyyn, Liiteri.net - palveluun tai molempiin liittyen.

35.
